

---

# **Diseño de chasis, basculante y carenado de una moto eléctrica de competición**

---

Trabajo Final de **Grado en Ingeniería mecánica**

**ERIC GUIL VIDAL**

Director/a:  
*Carlos Gustavo Díaz González*

30 de junio de 2030



## Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a todos mis familiares y amigos por todo el apoyo que me han proporcionado a lo largo de la elaboración de este proyecto. Especialmente a J.

También agradecer este proyecto a las 10 personas que junto a mi forman el equipo de MotoSpirit y que, por su enorme esfuerzo, sacrificio y dedicación hemos conseguido crear algo que va mucho más lejos que un simple proyecto. Deseando cruzar la meta de Motorland como ganadores de MotoStudent 2021.

Finalmente, pero no menos importante, a todos los patrocinadores y colaboradores del equipo de MotoSpirit por toda la ayuda y soporte a este proyecto.

## Resum (CAT)

A aquest projecte es presenta el disseny d'un bastidor, basculant i carenat d'una motocicleta elèctrica de competició que ha estat desenvolupada per a la competició internacional de MotoStudent de 2021 mostrant el treball que s'ha realitzat dins de l'equip de MotoSpirit en la seva quarta edició. Aquest projecte es centra en el disseny i desenvolupament de les diferents parts que s'exposen. Primerament, s'exposaran els diferents requeriments de disseny que restringiran el procés de disseny de les peces on seguidament es procedirà a realitzar un estudi, elecció i justificació del tipus de bastidor i xassís que es durà a terme. Després, es procedirà al modelatge de les diferents peces i elements a dissenyar per a una posterior simulació mitjançant elements finits amb la finalitat d'avaluar les prestacions de les propostes realitzades. Durant el procés de disseny es presenta l'evolució que adopta el disseny final per tal d'aconseguir el comportament que es vol. Les simulacions es realitzaran sobre les situacions crítiques que s'exposaran en el projecte on es plantegen situacions com les de màxima acceleració i frenada de la motocicleta, així com el seu pas per corba, en la corba més desfavorable del circuit on es durà a terme la competició.

## Resumen (ESP)

En este proyecto se presenta el diseño de un bastidor, basculante y carenado de una motocicleta eléctrica de competición que ha sido desarrollada para la competición internacional de MotoStudent de 2021 mostrando el trabajo que se ha realizado dentro del equipo de MotoSpirit en su cuarta edición. Este proyecto se centra en el diseño y desarrollo de las diferentes partes que se exponen. Primeramente, se expondrán los diferentes requerimientos de diseño que restringirán el proceso de diseño de las piezas donde seguidamente se procederá a realizar un estudio, elección y justificación del tipo de bastidor y chasis que se llevará a cabo. Después, se procederá al modelado de las diferentes piezas y elementos a diseñar para una posterior simulación mediante elementos finitos con el fin de evaluar las prestaciones de las propuestas realizadas. Durante el proceso de diseño se presenta la evolución que adopta el diseño final por tal de conseguir el comportamiento que se quiere. Las simulaciones se realizarán en base a las situaciones críticas que se expondrán en el proyecto donde se plantean situaciones como las de máxima aceleración y frenada de la motocicleta, así como su paso por curva, en la curva más desfavorable del circuito donde se llevará a cabo la competición.



## Abstract

This Project presents the design of a frame, swingarm and fairing of a competition electric motorcycle that has been developed for the 2021 MotoStudent international competition, showing the work that has been done within the MotoSpirit team in the fourth edition. This project focuses on the design and development of the different parts that are exposed on the project. Firstly, the different design requirements that will restrict the design process of the pieces will be exposed, where a study, choice and justification of the type of frame and chassis to be carried out will be done. Then, the different parts and elements to be designed will be modeled for a subsequent simulation using finite elements in order to evaluate the performance of the proposals made. During the design process, the evolution adopted by the final design is presented in order to achieve the desired behavior. The simulations are carried out based on the critical situations that will be exposed in the project where situations such as those of maximum acceleration and braking of the motorcycle are raised, as well as its passage through a curve, in the most unfavorable curve of the circuit where the competition.

# Índice

Agradecimientos .....	2
Resum (CAT) .....	3
Resumen (ESP) .....	3
Abstract .....	4
1 Introducción .....	14
1.1 Objeto y alcance del trabajo .....	14
1.2 Objetivos .....	14
1.3 Requerimientos de trabajo .....	15
1.4 Utilidad del trabajo.....	15
1.5 Antecedentes .....	16
1.5.1 MotoStudent .....	16
1.5.2 MotoSpirit .....	17
2 Estado del arte .....	21
2.1 Estructura de la motocicleta .....	21
2.1.1 Tren delantero.....	22
2.1.1.1 Horquillas .....	22
2.1.1.2 Tija superior e inferior.....	22
2.1.1.3 Pipa de dirección .....	23
2.1.2 Bastidor .....	23
2.1.2.1 Diferencia entre bastidor y chasis.....	23
2.1.3 Batería .....	23
2.1.3.1 Inversor .....	24
2.1.3.2 Battery Management System (BMS).....	24
2.1.4 Motor eléctrico.....	24
2.1.5 Transmisión .....	24
2.1.5.1 Directa .....	24
2.1.5.2 Transmisión Variable Continua (CVT).....	24
2.1.5.3 Caja de Cambios .....	25
2.1.6 Subchasis .....	25
2.1.7 Tren trasero.....	25
2.1.7.1 Basculante .....	25
2.1.7.2 Suspensión trasera .....	25
2.1.8 Carenado .....	25

2.2	Historia y evolución del bastidor y chasis de la motocicleta.....	26
2.3	Tipos de bastidores de motocicleta .....	33
2.3.1	Según su integridad estructural .....	33
2.3.1.1	Bastidor portante .....	33
2.3.1.2	Bastidor autoportante.....	33
2.3.2	Según el tipo de estructura .....	34
2.3.2.1	Chasis tubular.....	34
2.3.2.1.1	Chasis de simple cuna cerrado.....	34
2.3.2.1.2	Chasis de simple cuna abierto.....	35
2.3.2.1.3	Chasis de simple cuna desdoblado .....	35
2.3.2.1.4	Chasis de doble cuna.....	35
2.3.2.1.5	Chasis monoviga o de espina central.....	35
2.3.2.1.6	Chasis multitubular o tubular triangulado .....	36
2.3.2.2	Chasis de doble viga .....	36
2.3.2.2.1	Chasis doble viga perimetral .....	36
2.3.2.2.2	Chasis doble viga perimetral cerrado.....	37
2.3.2.3	Chasis monocasco .....	37
2.3.2.4	Otros tipos de chasis .....	37
2.3.2.4.1	Chasis tipo Omega.....	37
2.4	Historia y evolución del basculante .....	38
2.5	Tipos de basculantes de motocicleta .....	39
2.5.1	Basculante monobrazo.....	39
2.5.2	Basculantes tubulares .....	40
2.5.3	Basculantes de sección variable.....	41
2.6	Historia y evolución de los carenados de una motocicleta.....	41
3	Diseño.....	44
3.1	Datos de partida generales .....	44
3.2	Geometría y parámetros de diseño .....	49
3.2.1	Distancia entre ejes.....	49
3.2.2	Avance .....	49
3.2.3	Excentricidad de la horquilla .....	50
3.2.4	Ángulo de dirección.....	50
3.2.5	Centro de gravedad.....	50
3.2.6	Ángulo de basculante .....	51
3.2.7	Longitud del basculante .....	52
3.2.8	Squat.....	52

3.2.9	Rigidez del chasis.....	53
3.3	Dimensionamiento .....	53
3.4	Diseño del bastidor .....	56
3.4.1	Datos de partida .....	56
3.4.2	Elección del tipo de bastidor .....	57
3.4.3	Propuestas de diseño .....	58
3.4.3.1	Primera Opción.....	59
3.4.3.2	Segunda opción .....	59
3.4.3.3	Tercera opción.....	60
3.5	Diseño del basculante .....	61
3.5.1	Datos de partida .....	61
3.5.2	Elección del tipo de basculante.....	62
3.5.3	Sistema de bieletas .....	63
3.5.4	Dimensionamiento .....	64
3.5.5	Propuestas de diseño .....	66
3.5.5.1	Primera opción .....	67
3.5.5.2	Segunda opción .....	68
3.5.5.3	Tercera opción.....	68
3.5.5.4	Cuarta opción .....	69
3.6	Diseño del carenado.....	70
3.6.1	Datos de partida .....	70
3.6.2	Principios básicos de aerodinámica en las motocicletas .....	71
3.6.3	Propuestas de diseño .....	72
4	Estudio, análisis y elección del material.....	76
4.1	Estudio de materiales.....	76
4.1.1	Magnesio .....	76
4.1.2	Acero .....	76
4.1.3	Titanio.....	77
4.1.4	Fibra de carbono .....	77
4.1.5	Aluminio .....	78
4.2	Elección del material .....	78
5	Cálculos, modelización y simulaciones.....	81
5.1	Cálculos generales de la motocicleta .....	81
5.1.1	Aceleración máxima .....	81
5.1.2	Frenada máxima.....	83
5.1.2.1	Frenada máxima freno delantero .....	83

5.1.2.2	Frenada máxima freno trasero.....	85
5.1.3	Paso por curva.....	86
5.1.4	Fuerzas en banco de ensayo .....	89
5.2	Proceso de diseño del bastidor .....	91
5.3	Proceso de diseño del basculante .....	103
5.3.1	Cálculos del sistema de bieletas.....	103
5.3.1.1	Estudio para aceleración máxima .....	104
5.3.1.1.1	Análisis del “rocker” o balancín .....	104
5.3.1.1.1.1	Simulación y análisis con el punto “pivot” fijo.....	106
5.3.1.1.1.2	Simulación y análisis con el punto “shock” fijo.....	108
5.3.1.1.1.3	Simulación y análisis con el punto “link point” fijo.....	110
5.3.1.1.2	Análisis del link.....	111
5.3.1.1.2.1	Simulación y análisis con el punto de unión al basculante fijo .....	112
5.3.1.2	Estudio para máxima compresión del muelle.....	114
5.3.1.2.1	Fuerzas situadas en el balancín.....	114
5.3.1.2.2	Fuerzas situadas en el link.....	115
5.3.2	Evolución del diseño del basculante .....	116
5.4	Proceso de diseño del carenado .....	132
6	Presupuesto .....	136
7	Pliego de condiciones.....	137
7.1	Medidas generales .....	137
7.2	Vida útil .....	137
7.3	Presupuesto .....	138
7.4	Especificación de elementos .....	138
7.4.1	Componentes fabricados .....	138
7.4.2	Componentes comprados .....	138
7.5	Transporte .....	138
7.6	Materiales .....	139
7.7	Condiciones de montaje.....	139
7.8	Advertencias de seguridad.....	139
8	Impacto medioambiental .....	141
8.1	Fase de diseño.....	141
8.2	Evaluación ambiental piezas de aluminio .....	141
8.3	Fase de fabricación.....	142
8.3.1	Minimizado de residuos .....	142
8.3.2	Tratamiento de los residuos.....	142





8.4	Fase de explotación.....	142
8.5	Fase de desmantelamiento .....	142
9	Conclusiones.....	144
10	Líneas futuras .....	145
11	Bibliografía .....	146
11.1	Webliografía .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
11.2	Libros .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
11.3	Archivos de información de MotoSpirit .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
12	Anexos .....	147
12.1	Planos de las piezas diseñadas.....	147

# Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Logo de MotoStudent, MEF y Technopark Motorland.....	16
Ilustración 2 Logo de MotoSpirit.....	17
Ilustración 3 Primer Equipo de MotoSpirit.....	18
Ilustración 4 Segunda edición de MotoSpirit.....	18
Ilustración 5 Tercera edición de MotoSpirit.....	19
Ilustración 6 Cuarta edición de MotoSpirit.....	19
Ilustración 7 Logo de la ESEIAAT y programa INSPIRE.....	20
Ilustración 8 Motocileta de Willhelm Maybach y Gottlieb.....	27
Ilustración 9 Primera motocileta fabriada en serie.....	27
Ilustración 10 Motocicleta de los hermanos Wener.....	28
Ilustración 11 Primer modelo de Scooter.....	28
Ilustración 12 Vespa diseñada por Corradino d'Ascanio.....	29
Ilustración 13 FN Four.....	29
Ilustración 14 Primer modelo de Harley Davidson.....	30
Ilustración 15 Speed Twin de Triumph.....	31
Ilustración 16 Honda CB750.....	31
Ilustración 17 Suzuki Hayabusa.....	32
Ilustración 18 Ejemplo de chasis y bastidor respectivamente.....	33
Ilustración 19 A la izquierda la Norton Garden Gate y a la derecha la Norton Featherbed.....	38
Ilustración 20 Basculante monobrazo.....	40
Ilustración 21 Basculante tubular.....	40
Ilustración 22 Basculante de sección variable.....	41
Ilustración 23 Montesa Sprint 125.....	42
Ilustración 24 Anchura mínima entre los extremos de los semimanillares.....	45
Ilustración 25 Ángulo mínimo de inclinación.....	45
Ilustración 26 Altura mínima respecto al suelo.....	46
Ilustración 27 Límite que no deben sobrepasar los elementos por la parte anterior de la motocicleta.....	46
Ilustración 28 Límite que no deben sobrepasar los elementos por la parte posterior de la motocicleta.....	46
Ilustración 29 Anchura máxima del asiento.....	47
Ilustración 30 Anchura máxima del carenado.....	47
Ilustración 31 altura máxima entre asiento y colín.....	47
Ilustración 32 Giro mínimo de la dirección.....	48
Ilustración 33 Análisis del squat.....	52
Ilustración 34 Primera propuesta de geometría.....	54
Ilustración 35 Segunda propuesta de geometría.....	55
Ilustración 36 Tercera propuesta y definitiva de la geometría.....	55
Ilustración 37 Primera propuesta de bastidor.....	59
Ilustración 38 Segunda propuesta de bastidor.....	60
Ilustración 39 Tercera propuesta de bastidor.....	60
Ilustración 40 Dimensionamiento del basculante.....	65
Ilustración 41 Gráfica de resultados para la configuración de la suspensión trasera.....	66
Ilustración 42 Primer diseño del basculante.....	67

Ilustración 43 Segunda propuesta para el basculante .....	68
Ilustración 44 Tercera propuesta para el basculante.....	69
Ilustración 45 Cuarta propuesta y definitiva para el basculante .....	69
Ilustración 46 Restricciones para el guardabarros delantero .....	71
Ilustración 47 Primer diseño del carenado .....	73
Ilustración 48 Línea de diseño del carenado.....	74
Ilustración 49 Carenado, parte lateral y frontal.....	75
Ilustración 50 Carenado, parte de colín y "depósito" .....	75
Ilustración 51 Propiedades del aluminio 7075-T6 y 6063-T6.....	80
Ilustración 52 Disposición de fuerzas para el caso de aceleración máxima.....	82
Ilustración 53 Situación de fuerzas para el caso de frenada con freno delantero.....	84
Ilustración 54 Situación de fuerzas para el caso de frenada máxima con freno trasero .....	85
Ilustración 55 Situación de fuerzas para el caso de paso por curva .....	87
Ilustración 56 Trzada del circuito con numeración de las curvas .....	88
Ilustración 57 Descripción de las pruebas estáticas.....	89
Ilustración 58 Situación de fuerzas para el caso de las pruebas estáticas de la motocicleta .....	90
Ilustración 59 Diseño de la propuesta final del chasis .....	91
Ilustración 60 Resultados de la primera simulación del bastidor .....	92
Ilustración 61 Diseño del bastidor ante la primera modificación .....	93
Ilustración 62 Resultados de la primera modificación del bastidor.....	93
Ilustración 63 Situación del battery pack en el bastidor .....	94
Ilustración 64 Diseño del bastidor ante la segunda modificación del bastidor .....	95
Ilustración 65 Resultados del diseño ante la segunda modificación .....	95
Ilustración 66 Optimización de las planchas laterales del bastidor .....	96
Ilustración 67 Diseño final de las planchas laterales después de su optimización .....	97
Ilustración 68 Resultados de la simulación de las planchas laterales .....	98
Ilustración 69 Optimización de las planchas laterales posteriores del bastidor .....	98
Ilustración 70 Diseño final ante la optimización .....	99
Ilustración 71 Resultados de la optimización de las planchas laterales posteriores .....	100
Ilustración 72 Diseño de la plancha inferior del bastidor .....	101
Ilustración 73 Resultados de la simulación de la plancha inferior .....	101
Ilustración 74 Ensamblaje de todas las piezas diseñadas .....	102
Ilustración 75 Resultados de la simulación del ensamblaje del bastidor.....	103
Ilustración 76 Situación de las fuerzas en el rocker o balancín.....	105
Ilustración 77 Simulación de esfuerzos con punto "pivot" fijo .....	106
Ilustración 78 Resultados de desplazamientos con punto "pivot" fijo .....	107
Ilustración 79 Resultados de factor de seguridad con punto "pivot" fijo .....	107
Ilustración 80 Simulación de esfuerzos con punto "shock" fijo .....	108
Ilustración 81 Resultados de desplazamientos con punto "shock" fijo .....	109
Ilustración 82 Resultados de factor de seguridad con punto "shock" fijo.....	109
Ilustración 83 Simulación de esfuerzos con punto "link" fijo .....	110
Ilustración 84 Resultados de desplazamientos con punto "link" fijo.....	110
Ilustración 85 Resultados de factor de seguridad con punto "link" fijo .....	111
Ilustración 86 Situación de las fuerzas en el link.....	112
Ilustración 87 Simulación de esfuerzos en el link .....	113
Ilustración 88 Resultados de desplazamientos en el link.....	113
Ilustración 89 Resultados del factor de seguridad del link .....	114

Ilustración 90 Situación de las fuerzas en el rocker o balancín ante máxima compresión del muelle.....	115
Ilustración 91 Situación de fuerzas en el link .....	115
Ilustración 92 Diseño de la propuesta final del basculante .....	116
Ilustración 93 Resultados de la simulación del basculante.....	117
Ilustración 94 Primera modificación del basculante .....	118
Ilustración 95 Optimización de las zonas laterales del basculante .....	118
Ilustración 96 Basculante optimizado .....	119
Ilustración 97 Resultados de la simulación del basculante optimizado .....	119
Ilustración 98 Basculante con modificación.....	120
Ilustración 99 Resultados de la simulación del basculante modificado.....	120
Ilustración 100 Basculante con perfiles normalizados de sección cuadrada .....	121
Ilustración 101 Alojamiento para el coliso y cojinetes del basculante .....	122
Ilustración 102 Basculante con el anclaje central para el sistema de bieletas .....	122
Ilustración 103 Resultados de la simulación de tensiones del ensamblaje del basculante .....	123
Ilustración 104 Línea de diseño final del basculante con perfiles normalizados de sección circular.....	124
Ilustración 105 Optimizado de la parte trasera del basculante .....	124
Ilustración 106 Ensamblaje final del basculante con piezas traseras optimizadas.....	125
Ilustración 107 Estructura tubular del chasis.....	126
Ilustración 108 Simulación de la estructura tubular del basculante.....	126
Ilustración 109 Piezas traseras del basculante.....	127
Ilustración 110 Simulación de las piezas traseras del basculante.....	128
Ilustración 111 Pieza de anclaje del sistema de bieletas .....	129
Ilustración 112 Simulación de la pieza de anclaje del sistema de bieletas .....	129
Ilustración 113 Resultados de la simulación de tensiones del ensamblaje del basculante .....	130
Ilustración 114 Factor de seguridad de la estructura tubular del basculante hechos en aluminio 6063-T5 .....	131
Ilustración 115 Factor de seguridad de la estructura tubular del basculante hechos en aluminio 6063-T6 .....	131
Ilustración 116 Frontal del carenado, primera propuesta .....	132
Ilustración 117 Frontal del carenado .....	132
Ilustración 118 Lateral del carenado, primera propuesta.....	132
Ilustración 119 Ensamblaje carenado, primera propuesta .....	133
Ilustración 120 Frontal del carenado, segunda propuesta .....	133
Ilustración 121 Lateral del carenado, segunda propuesta.....	134
Ilustración 122 Ensamblaje carenado, segunda propuesta .....	134
Ilustración 123 Resultados de la presión .....	135
Ilustración 124 Resultados de la velocidad .....	135
Ilustración 125 Resultados de la temperatura .....	135
Ilustración 126 Medidas generales .....	137

## Índice de Tablas

Tabla 1 Comparativa tipos de bastidores.....	57
Tabla 2 Matriz de propiedades del bastidor .....	58
Tabla 3 Comparativa de basculantes .....	62
Tabla 4 Matriz de prioridades del basculante.....	63
Tabla 5 Fragmento de la tabla de resultados proporcionados por el Foale .....	104
Tabla 6 Fragmento de la tabla de resultados que presenta el Foale ante la situación de máxima compresión del muelle.....	114
Tabla 7 Tabla de presupuesto .....	136

## 1 Introducción

En este primer capítulo del proyecto se presentará el objeto y alcance del proyecto, los objetivos que se marcan con su realización, los requerimientos, la utilidad del proyecto y los antecedentes que pretenden poner en situación el proyecto.

### 1.1 Objeto y alcance del trabajo

El objeto de este trabajo de final de grado es realizar un estudio exhaustivo de todos los tipos de chasis y basculante que existen para escoger la mejor opción para las necesidades y requerimientos que condicionan el diseño del chasis y el basculante.

Para realizar este diseño del chasis y basculante se llevará a cabo la realización de tablas comparativas analizando las ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos. Una vez realizado y escogido los tipos de chasis y basculante se realizará una primera fase de croquis y dibujos de los diferentes prototipos e ideas de diseño que sean candidatas para llevar a cabo a la realidad.

Seguidamente, se llevará a cabo el modelado 3D de estos diseños para tener una visión más objetiva de las ideas propuestas anteriormente y analizando si estas cumplen los requerimientos de diseño y las normas establecidas por la competición de MotoStudent. Una vez hechos estos modelados 3D se procederá a realizar un análisis para ver como acoplar el chasis de la motocicleta con el basculante donde entra en lugar la suspensión trasera de este, donde también se hará una comparación de las diferentes disposiciones de la suspensión y se escogerá la más adecuada para el prototipo.

Una vez realizado el trabajo mencionado previamente se pasará a hacer el cálculo de todas las fuerzas a las cuales será sometido el chasis, analizando las condiciones más extremas del circuito donde se dará lugar la carrera de MotoStudent donde estas serán las que marcarán los mínimos que tendrá que soportar la motocicleta.

Seguidamente, definido el conjunto chasis/basculante final se realizarán todas las simulaciones de diseño, como la de optimización de estas y simulaciones estructurales. Si durante este proceso se presentan errores o dificultades se llevará a cabo la modificación de estas para obtener los resultados establecidos previamente.

### 1.2 Objetivos

Mediante la realización de este trabajo se pretenden alcanzar varios objetivos. En primera instancia, conocer y profundizar con detalle en todos esos tecnicismos del mundo de las motocicletas, pero enfocado al mundo de la competición donde se tienen objetivos principales

como son la rapidez, la aerodinámica y la efectividad de la motocicleta. Tiendo como referencia estos objetivos se buscará que el prototipo sea lo menos pesado posible y lo más óptimo posible por tal de que el comportamiento de la motocicleta acabe siendo cómodo para y fácil de manejar por el piloto.

Otro de los objetivos es el hacer una moto con un estudio aerodinámico mucho más desarrollado que en las ediciones anteriores del equipo, ya que este factor puede marcar la diferencia entre un equipo y otro haciendo de esta una motocicleta más veloz y con mejor comportamiento tanto en curva como en recta. Cabe destacar la parte de innovación del proyecto donde se apostará sobre todo para aplicarla en el apartado de carenados buscando nuevas ideas de reconducción del aire y nuevas formas de optimización del prototipo ante la acción del viento.

### 1.3 Requerimientos de trabajo

Modelar con SolidWorks el conjunto de chasis/basculante con todos los componentes relacionados con estos. Para modelar el carenado de la moto se llevará a cabo un uso y aprendizaje del software de Catia, puesto que este facilita mucho más el trabajo de superficies en 3D juntamente con uso de SolidWorks. Además, también se aprenderá a hacer uso de los programas de Altair y ANSYS para llevar a cabo todas las simulaciones necesarias. Encontrar los puntos críticos de diseño de los diferentes componentes.

Además, como requerimientos de diseño que se aplicarán para llevar a cabo este estudio será aplicar toda la normativa que proporciona la competición de MotoStudent de 2019-2020 de la categoría “electric” para realizar un prototipo apto para participar a la carrera final.

### 1.4 Utilidad del trabajo

MotoSpirit se dispone a participar nuevamente en la carrera de MotoStudent en la temporada de 2018-2020, es por eso que el equipo se encuentra ante la necesidad de calcular, diseñar, fabricar y testear una motocicleta de competición eléctrica en todo su conjunto.

Este proyecto se concentra básicamente en el bastidor, basculante y carenados del prototipo desarrollado ya que el equipo realiza una motocicleta en su totalidad. Cabe destacar que el equipo en la edición anterior del equipo participó con un diseño propio pero el equipo se renueva (del cual soy integrante) y decide optar por un prototipo totalmente nuevo.

Todas las decisiones y soluciones técnicas adoptadas a lo largo del proyecto han sido fruto del estudio de todos los problemas del equipo de MotoSpirit en sus anteriores ediciones y poseen el objetivo de encontrar la manera de optimizar al máximo, por tal de conseguir los objetivos marcados, el comportamiento del prototipo.

Además, cabe destacar, que gran parte el material utilizado en este proyecto es generado por el equipo de MotoSpirit especialmente por los departamentos de bastidor, basculante y carenados de los cuales formo parte y otra parte de la información es generada específicamente por mi parte para este proyecto.

## 1.5 Antecedentes

En este apartado se explicará brevemente sobre MotoStudent y el equipo de MotoSpirit por tal de poner en situación y ver el origen de estudio de este proyecto.

### 1.5.1 MotoStudent

MotoStudent es una competición universitaria a nivel mundial, promovida por MEF (Moto Engineering Foundation) y por el TechnoPark Motorland, que tiene como objetivo desarrollar, construir y testar el prototipo de una motocicleta de competición eléctrica.



*Ilustración 1 Logo de MotoStudent, MEF y Technopark Motorland*

En ella, ingenieros de las diferentes facultades compiten elaborando un proyecto de ingeniería que será evaluado desde un punto de vista industrial (coste, diseño, innovación), técnico (seguridad, funcionalidad, performance) y competitivo (carrera en circuito) que será evaluado y probado en el circuito FIM de Motorland situado en Aragón.

Existen dos categorías, Petrol y Electric, en función del motor utilizado por los equipos: Petrol para motores de combustión y Electric para motores eléctricos. Éstos son entregados por la Organización en el kit MotoStudent con tal de que los equipos partan en igualdad de condiciones.

Las pruebas que se deben superar en la competición son las siguientes:



- **Hitos administrativos:** deadlines o entregas administrativas que se deben enviar a la Organización en los tiempos establecidos a lo largo de los 18 meses que dura la competición.
- **Verificaciones previas:** Pruebas que determinan si los prototipos construidos cumplen los requisitos mínimos de resistencia, seguridad y funcionamiento presentados en el Reglamento.
- **Fase MS1- Proyecto industrial:** Fase en la que el equipo debe redactar un informe que explique de manera detallada el diseño del prototipo construido y en el que se adapte el modelo a la industria con tal de producirlo en serie (de manera hipotética).
- **Fase MS2- Pruebas dinámicas:** Prueba de frenado, gymkhana, aceleración, mecánica de equipos (montaje y desmontaje del carenado), velocidad máxima en Speed Trap, pole position y carrera.

### 1.5.2 MotoSpirit

MotoSpirit nace noviembre de 2012 como un equipo universitario de motociclismo que representa al campus de Terrassa de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) conocida como Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y Aeronáutica de Terrassa (ESEIAAT) en la competición MotoStudent Electric.



*Ilustración 2 Logo de MotoSpirit*

Hubo 8 estudiantes de la universidad interesados en la participación y formación de este equipo añadiendo de esta manera a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y Aeronáutica de Terrassa (ESEIAAT) como participantes en la tercera edición del certamen de MotoStudent de 2012 – 2014 participando en la categoría de “petrol”. Este equipo puso los cimientos de lo que sería un equipo caracterizado por la tenacidad, el esfuerzo, la profesionalidad, el trabajo en equipo y las ganas de aprender.



*Ilustración 3 Primer Equipo de MotoSpirit*

Seguidamente, en 2014 el equipo pasó el testigo a las nuevas generaciones dando lugar a la segunda edición de MotoSpirit competidores de MotoStudent 2014 – 2016. Este equipo fue formado por 12 estudiantes de la ESEIAAT los cuales no solo mantendrían el espíritu competitivo y revolucionario de los antiguos integrantes, sino que también dieron un giro más agresivo y actual a la imagen del equipo. Como resultado de esto el equipo se proclamó ganador de la IV edición de MotoStudent, pero esta vez en la categoría “electric”, la cual celebraba su primera edición en la competición.



*Ilustración 4 Segunda edición de MotoSpirit*

Como MotoSpirit es un proyecto en continuidad, para la V edición de MotoStudent el equipo se renovó dando lugar a una nueva edición formada por 11 estudiantes de la ESEIAAT, un equipo con una organización y unos cimientos bien contruidos y estructurados.



*Ilustración 5 Tercera edición de MotoSpirit*

Para la presente edición de MotoSpirit ESEIAAT se cuenta con un equipo formado por 12 estudiantes de ingeniería de la universidad que será participante en la VI edición de MotoStudent. El objetivo principal del presente equipo es posicionar la UPC Terrassa (ESEIAAT) como una escuela innovadora y referente en el mundo del motociclismo a nivel universitario, presentado un proyecto destacable y rompedor sobre el resto de participantes de la V edición, a la misma vez que se intentaran mejorar los resultados de ediciones anteriores.



*Ilustración 6 Cuarta edición de MotoSpirit*

El equipo, al igual que en todas las ediciones anteriores, cuenta con el apoyo de la universidad a través del programa INSPIRE<sup>3</sup>. El programa INSPIRE<sup>3</sup> es una Iniciativa dirigida a los estudiantes por la realización de Proyectos Innovadores Reales, el que constituye una nueva Experiencia Educativa en Ingeniería, consistente en el desarrollo por parte de grupos de estudiantes de proyectos de ingeniería reales y de contenido transversal en los cuales el estudiantado tiene la oportunidad de aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos y desarrollar de nuevas, como por ejemplo: la creatividad, la intuición, el pensamiento crítico, las capacidades de comunicación y de aptitudes de liderazgo, de gestión de proyectos y de negociación.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeries  
Industrial i Aeronàutica de Terrassa



*Ilustración 7 Logo de la ESEIAAT y programa INSPIRE*

Los alumnos implicados para esta nueva edición son Francesc González, Eric Guil, Héctor Gardó, Oscar Navajas, Marc Pardo, Mateo Cristino, Joel Sánchez, Sergi Parramon, Gerard de la Rosa, Guillem Soler, Moisés Baena i Eduard Vicente.

MotoSpirit tiene una estructura bien marcada donde este se divide en dos grandes bloques diferenciando entre dos grandes bloques: parte organizativa y parte técnica.

La parte organizativa está compuesta por cuatro departamentos principales los cuales son: logística, marketing, eventos y contabilidad. Mediante estos departamentos organizativos permiten llevar una buena gestión de todo el equipo en este ámbito.

La parte técnica está compuesta por siete departamentos principales los cuales se centran en los diferentes grupos importantes por la que está compuesta la motocicleta y son los siguientes: chasis/basculante, tren delantero, carenado, transmisión, baterías, power train y dashboard.

Es digno de mención que, a pesar de trabajar conjuntamente cada departamento es independiente del resto y ningún miembro tiene un peso específico superior a otro. Además, MotoSpirit, gracias a su metodología de trabajo, las plataformas organizativas y las reuniones semanales todos los miembros del equipo conocen cual es el estado del resto de los departamentos que lo componen y esto permite participar de forma activa a todos los miembros del equipo a la toma de decisiones más significativas para el equipo.



Particularmente, pertenezco a tres departamentos técnicos los cuales son: bastidor, basculante y carenados. En el departamento de bastidor, junto a mis compañeros de departamento, nos encargamos del diseño, la validación y fabricación del bastidor donde debemos cumplir todos los requisitos que la competición nos marca, los requerimientos de diseño, así como para que el funcionamiento de este se optimice. En el departamento de basculante, al igual que en el bastidor, también nos ocupamos del diseño, la validación y fabricación juntamente con todo el estudio necesario de la suspensión trasera. En el departamento de carenados, como en el resto de los departamentos, diseño, validación y fabricación donde juntamente se buscará realizar ese estudio aerodinámico.

En cuanto al bloque de departamentos de carácter organizativo y administrativo, figuro como encargado de todo el marketing del equipo, administrador de las redes sociales del equipo y creador de todo el contenido visual para las diferentes plataformas del equipo durante esta edición.

## 2 Estado del arte

En este apartado se tratarán varios aspectos de vital importancia para posteriormente conocer los detalles de diseño, para justificar las decisiones tomadas, contextualizar la información previa y para definir todos los términos necesarios previos.

Primero de todo se llevará a cabo un repaso sobre la estructura de la motocicleta donde se explicarán y se definirán cada una de las partes que se encuentran en una motocicleta eléctrica. Seguidamente, se realizará una breve historia, origen y evolución del bastidor y chasis de la motocicleta a lo largo de la historia. En tercer lugar, se presentarán los diferentes tipos de chasis que se encuentran clasificándolos según su integridad estructural y según el tipo de estructura. En cuarto lugar, al igual que con el bastidor, se realizará una breve historia, origen y evolución de los basculantes de las motocicletas donde seguidamente se presentarán los diferentes tipos de basculante existentes. En último lugar, para el bloque de carenados, se realizará una breve historia, origen y evolución de los carenados de la motocicleta desde sus primeras apariciones en el mundo de las competiciones hasta el día de hoy.

### 2.1 Estructura de la motocicleta

Antes de analizar los objetos a estudio se definirá la parte general de donde pertenecen estos objetos. La motocicleta es la que engloba todos los objetos a analizar la cual engloba todas las estructuras y mecanismos que se describen en el proyecto.

Se conoce como motocicleta a aquel vehículo de dos ruedas impulsado por un motor, de combustión interna o eléctrico, que acciona una rueda trasera. Como forma general la rueda delantera es la que posee la función de dar dirección al vehículo y la rueda trasera es la encargada en transmitir el par motor al suelo provocando un avance en esta. La estructura que une estas dos ruedas y mantiene la integridad de la moto como un conjunto es lo que se denomina bastidor.

Es necesario conocer a la perfección la estructura de la motocicleta ya que a lo largo de este proyecto se hará referencia a muchas de estas partes que la componen. En concreto se hará un análisis detallado de los componentes que se requieren en una motocicleta eléctrica.

### 2.1.1 Tren delantero

Se hace referencia a tren delantero a todo el grupo de piezas y componentes que se sitúan en la parte delantera de la moto y que tienen como función principal permitir el control de la dirección de la moto. En este grupo encontramos: pipa de dirección, tija superior e inferior, horquillas, rueda y neumático delantero y todo el sistema de frenada delantera. A continuación, se definirán los aspectos más significantes de este grupo.

#### 2.1.1.1 Horquillas

Las horquillas de la motocicleta son lo que constituyen la suspensión delantera de la motocicleta. Estas conectan la rueda delantera con el chasis mediante las tijas de dirección. Además, alrededor de estas se instala todo el sistema de freno delantero. Gracias a la suspensión delantera de la motocicleta se absorben las irregularidades y curvas del terreno permitiendo y dando seguridad al piloto y comodidad por tal de mantener al piloto aislado de dichas irregularidades. A parte de todas las funciones que se le atribuyen a la horquilla delantera, también esta tiene la función de mantener en todo momento la rueda delantera en contacto con el suelo dotando a la moto de estabilidad.

#### 2.1.1.2 Tija superior e inferior

La tija de una motocicleta es el elemento que sirve de unión entre la suspensión o horquillas y el chasis. Incorpora abrazaderas dotadas de tornillos que aprietan las barras, o las botellas de las horquillas invertidas. Esta también incorpora el eje de la dirección, así como los rodamientos sobre los que gira por tal de permitir el giro de la dirección. La tija suele estar formada por dos piezas llamadas: tija superior y tija inferior unidas por el eje de dirección.

La tija superior sirve de alojamiento de la parte superior de la suspensión. Para ello dispone de dos orificios del diámetro de la horquilla junto con el apoyo para el manillar o semimanillares de

la motocicleta. Por otro lado, la tija inferior, también contiene otros dos orificios para el paso de la horquilla mediante estos junto con el eje de dirección de la motocicleta.

#### 2.1.1.3 *Pipa de dirección*

La pipa de dirección forma parte del bastidor, pero a la vez del tren delantero ya que este es el alojamiento del eje de dirección de la motocicleta, el cual permitirá el movimiento y dirección de la motocicleta.

#### 2.1.2 Bastidor

El bastidor, como parte estructural de la motocicleta, trata de dar una rigidez a su estructura siendo capaz de soportar grandes esfuerzos ya sean dinámicos, originados por la aceleración, desaceleración y cambios de dirección sin dejar de proporcionar agilidad, agarre y comodidad a su conductor.

Dicha rigidez, que ha de proporcionar el bastidor, ha de ser alta acompañado de una resistencia a los esfuerzos de compresión, torsión y flexión producidos por las frenadas, fuerzas de transmisión y protuberancias o baches de inestabilidad del asfalto, garantizando una mínima deformación y variación de geometrías del prototipo.

##### 2.1.2.1 *Diferencia entre bastidor y chasis*

Es de fácil confusión usar los términos de bastidor y chasis para referirse a lo mismo, pero se ha de tener en cuenta que no se está hablando de lo mismo. El bastidor está comprendido dentro del conjunto chasis, pero no al revés.

El bastidor se entiende como la unión principal que da forma a la moto en conjunto y une las diferentes partes de está formando la estructura general de esta. En cambio, el chasis comprende desde el bastidor hasta el basculante incluyendo llantas, ruedas, pinzas de freno y el conjunto de suspensión delantera y trasera. A su vez el chasis recibirá los esfuerzos que permiten a la motocicleta maniobrar. El resto de las funciones del chasis, de cara al comportamiento de la motocicleta, serán secundarias como unos correctos soportes para el motor, espacio para las tomas de aire y un subchasis.

#### 2.1.3 Batería

La batería de una motocicleta es la parte que suministrará la energía al motor a partir de todo un configurado de celdas conectadas entre ellas ya sea en paralelo o en continuo mediante un conexionado. Este elemento tan importante se sitúa dentro del bastidor de la moto y se comportaría como la “gasolina” de la motocicleta. La batería es controlada, gestionada y administrada gracias al “Battery Management System” (BMS) y el inversor.

#### 2.1.3.1 *Inversor*

El inversor es un componente que tiene como principal función convertir la corriente directa que proviene de la batería en corriente alterna con la cual funciona el motor eléctrico. Dado que funciona como intermediario entre la batería y el motor, se suele situar en medio de los dos. La ubicación del inversor es bastante importante, pues la idea es que esté lo más cerca del motor y las baterías para acortar los cables de cobre que unen el entramado dado que estos cables añaden un peso extra considerable para su tamaño.

#### 2.1.3.2 *Battery Management System (BMS)*

El “Battery Management System” (BMS) o Sistema de Gestión de Baterías es un sistema electrónico que gestiona una batería recargable mediante la protección de la batería para no operar fuera de su área de operación segura, el seguimiento de su estado, el control de su entorno y el balance o equilibrio de la batería.

#### 2.1.4 *Motor eléctrico*

EL motor eléctrico es la pieza clave de una motocicleta eléctrica ya que esta unidad es la que se encargará de dar vida al prototipo. A partir de esta se genera la energía para transmitir a la rueda trasera de esta y generar el avance de la motocicleta.

#### 2.1.5 *Transmisión*

La transmisión de la moto es la clave para aprovechar al máximo la potencia de la motocicleta, es decir, gracias a esta, se transmite la energía que da el motor a la rueda trasera por tal de provocar el avance de la motocicleta. El adecuado aprovechamiento de la potencia que genera el motor, el correcto desempeño y las condiciones externas de uso guardan estricta relación con el tipo de transmisión que tenga. Es por eso por lo que la transmisión se puede encontrar mediante correa, cadena o cardán además de poder diferenciarlo entre transmisión directa, transmisión variable continua (CVT) y caja de cambios.

##### 2.1.5.1 *Directa*

La transmisión directa, como en el propio nombre se indica, no hay ningún medio entre la energía que proporciona el motor y el piñón de transmisión de la rueda trasera, sino que directamente toda la energía que sale del motor va directa a la rueda.

##### 2.1.5.2 *Transmisión Variable Continua (CVT)*

El sistema de transmisión variable continua (CVT) es un tipo de cambio automático que está formado por dos roldanas formadas por elementos cónicos unidas por una cadena que transmite potencia. Cada una de las relaciones de diámetro que pueden adoptar las roldanas



corresponde a una relación de transmisión diferente y es por eso que se dice que los cambios de variador tienen infinitas marchas.

#### 2.1.5.3 *Caja de Cambios*

La caja de cambios o caja de velocidades proporciona distintas relaciones de engranajes de tal forma que la misma velocidad de giro del cigüeñal puede convertirse en distintas velocidades de giro en las ruedas. El resultado en la rueda de tracción es la disminución de velocidad de giro respecto al motor y el aumento de la misma medida del par motor. Además, la caja de cambios puede reducir el número de revoluciones del motor según el par necesario en cada instante.

#### 2.1.6 *Subchasis*

El subchasis de la motocicleta es toda la estructura que tiene como función principal sustentar el asiento, donde se situará el piloto. Este se toma como otra pieza distinta al chasis cuando es desmontable y va unido al chasis de la motocicleta mediante tornillos o soldadura.

#### 2.1.7 *Tren trasero*

Se hace referencia a tren trasero a todo el grupo de piezas y componentes que se sitúan en la parte trasera de la moto y que tienen como función principal el hacer posible que la transmisión pueda transmitir el movimiento a la rueda motriz o trasera. En este grupo encontramos el basculante, junto con la suspensión trasera, rueda y neumático trasero junto a todo el sistema de frenada trasera.

##### 2.1.7.1 *Basculante*

El basculante de una motocicleta es la parte que une la rueda trasera a la estructura y el chasis y permitir el movimiento de la rueda en sentido vertical e inhibir el movimiento de la misma en sentido horizontal. Es una pieza esencial, ya que ofrece pistas sobre el comportamiento de la rueda trasera, algo fundamental sobre todo en el mundo de la competición, donde la conducción se controla al milímetro, además de ser una parte esencial para poder instalar el sistema de suspensión trasera.

##### 2.1.7.2 *Suspensión trasera*

La suspensión trasera, al igual que el sistema de suspensión delantera, permite que este absorba absorben las irregularidades y curvas del terreno permitiendo y dando seguridad al piloto y comodidad por tal de mantener al piloto aislado de dichas irregularidades

#### 2.1.8 *Carenado*

El carenado de una motocicleta se denomina al revestimiento externo realizado con fibra de vidrio, fibra de carbono o plástico u otro material que se adapta al chasis con fines

principalmente aerodinámicos, aunque también estéticos y con la finalidad de mantener protegidos de los fenómenos meteorológicos tanto al motor como otros equipamientos y dispositivos internos manteniéndolos de esta manera de una degradación severa. En las motocicletas este se suele dividir en cuatro piezas principales; cúpula, quilla, laterales y colín.

## 2.2 Historia y evolución del bastidor y chasis de la motocicleta

El origen de la motocicleta se encuentra en otro invento del hombre el cual empieza con la bicicleta, donde surge la necesidad de poder desplazarse con este medio de transporte sin tener que pedalear.

El principal problema cuestión que se planteaba para aquel entonces era la forma de producción de energía donde para aquel entonces la energía que daba un poco de autonomía y movilidad era el vapor lo cual esto comportaba el tener un mecanismo bastante grande y aparatoso para instalarlo con buen rendimiento y efectividad en algo tan pequeño como una bici.

La primera referencia de la cual se puede hablar propiamente y designar con el nombre de motocicleta es en el 1867 donde el estadounidense Sylvester Howard Roper inventó un motor con cilindros a vapor y lo incorporó a un cuadro de bicicleta común de dicha época.

Existe una controversia histórica a la hora de asignar al creador de la motocicleta como tal ya que algunos expertos dicen que la máquina que creó Howard Roper con dichas características no puede considerarse como una verdadera motocicleta moderna y que por ello no es la primera máquina de este tipo.

Para esos expertos que no consideran el prototipo que realizó Howard Roper, se dice que la primera motocicleta real creada fue por dos alemanes, Wilhelm Maybach y Gottlieb Daimler, los cuales en noviembre de 1885 construyeron una motocicleta de cuadro y rueda de madera que estaba propulsada por un motor de combustión interna. Este motor, de cuatro tiempos, no fue diseñado por ellos, si no que fue inventado por el ingeniero Nikolaus August Otto, el cual

para esa época ya era todo un experto en crear y construir motores. Esta motocicleta tenía una potencia de 0,5 caballos y alcanzaba una velocidad máxima de 18km/h.



*Ilustración 8 Motocileta de Wilhelm Maybach y Gottlieb*

En 1894, los alemanes Hildebrand y Wolfmüller presentan en Múnich la primera motocicleta fabricada en serie y con fines comerciales. Dicha motocicleta creada por los alemanes mencionados se estuvo produciendo hasta el año 1897, pero a pesar de todos los avances que se llevaron a cabo para aquel entonces la sociedad no acababa de mostrar un claro interés por el sector del motociclismo.



*Ilustración 9 Primera motocileta fabriada en serie*

Esta situación cambió en el 1897, donde se empezó a notar un cambio en la sociedad y mucha gente empieza a mostrar interés por este nuevo invento. Para ese momento es cuando los hermanos Eugene y Michel Werner, de origen ruso, diseñan un nuevo modelo de motocicleta. Estos no eran ingenieros ni mecánicos, si no que eran dos periodistas que decidieron montar un motor en una bicicleta. Al principio decidieron colocarlo en forma horizontal encima de la rueda delantera, luego delante del manillar con una correa de cuero que lo unía a la rueda delantera.

Un año después de ese primer diseño, en 1898, llegaría el verdadero éxito de esta máquina como motocicleta cuando, los hermanos Werner, empezaron a fabricarla.



*Ilustración 10 Motocicleta de los hermanos Wener*

Fue en el 1902 cuando en Francia aparece el Scooter o ciclomotor, al cual se le llamó auto sillón creado por Georges Gauthier la cual definió como una moto unida a un salpicadero de protección, de pequeñas ruedas y con un cuadro abierto que permite al piloto viajar sentado. También dispone de una carrocería que protege todos los mecanismos, y ofrece algún pequeño espacio de almacenaje de objetos pequeños y de una rueda de recambio. Fue entonces cuando en el 1914, Georges Gauthier puso en marcha su fabricación. Este tuvo una gran popularidad entre todos los jóvenes. Este tipo de vehículo destaca por la comodidad de manejo y facilidad de conducción.



*Ilustración 11 Primer modelo de Scooter*

En 1910 apareció el sidecar, un habitáculo con forma de carro, de una única rueda, que se acopla a la motocicleta por un lateral con espacio para un pasajero o como forma de almacenaje. Como resultado de acoplar este habitáculo al lateral de la motocicleta da lugar a un vehículo de tres ruedas donde su conducción se controla mediante el giro del manillar. El desarrollo de la Scooter se hizo fuerte a partir de 1919 y tuvo un gran éxito con la Vespa italiana, a partir de 1946. Gracias a esto, surge uno de los modelos más emblemáticos del mundo del motociclismo, como es el caso de La Vespa el cual fue diseñado por Corradino d'Ascanio, al cual le salió un competidor llamado La Lambretta, otro modelo de características similares a las de La Vespa y cuyo origen también es italiano.



*Ilustración 12 Vespa diseñada por Corradino d'Ascanio*

Cabe destacar que para el 1904, nace la FN Four, una motocicleta de origen belga, la cual se convirtió en un auténtico éxito debido a su avanzado diseño, el cual contenía instalado una transmisión secundaria por cardán y un chasis simple pero ligero y eficiente. Fue un auténtico éxito de ventas, la cual aguantó dos décadas de producción.



*Ilustración 13 FN Four*

Paralelamente, se encuentran las míticas marcas de motocicletas estadounidenses como son Harley Davidson e Indian. Bill Harley y Arthur Davidson empezaron en Milwaukee en un pequeño garaje de la localidad construyendo un motor, en 1901, el cual tras varias evoluciones y prototipos consiguieron ponerlo a punto y para 1903 obtener su primera motocicleta completa. Durante el 1904 construyeron un total de tres motocicletas y 5 para el 1905 consiguiendo de esta manera una producción de 15 ejemplares para el 1905. Mientras, Indian, en 1902, construyó su primer modelo de motocicleta.



*Ilustración 14 Primer modelo de Harley Davidson*

Para el 1920 y 1930, las motocicletas empezaron a convertirse en vehículos cada vez más sofisticados y veloces, lo cual tuvo una gran repercusión en la sociedad haciendo que el mundo del motociclismo creciera a grandes pasos su popularidad frente a los demás sistemas de transporte de la época. Durante estos años aparecieron motocicletas como la Speed Twin de Triumph, con un motor de doble cilindro ocasionando el pistoletazo de salida de las grandes cilindradas. Gracias a estas innovadoras e increíbles máquinas los fabricantes británicos de motocicletas acabaron dominando el sector de las motocicletas durante las dos siguientes décadas, 1940 y 1950. Durante estas décadas siguientes encontramos el retorno de los soldados estadounidenses que volvieron de la Segunda Guerra Mundial donde mostraron su descontento ante sus Harley Davidson y notaban que sus motocicletas necesitaban algunos cambios, es por eso que empieza un movimiento y un estilo de motocicletas diferente llamado "custom". El estilo custom es un tipo de motocicletas que destacan por su preciosa estética y su particular diseño y donde su utilidad erradica en paseos utilizadas tanto para ciudad como para ruta, pero a la vez no acabar de presentar una comodidad para el piloto debido a su peso, su posición y la altura del sillín.





*Ilustración 15 Speed Twin de Triumph*

Para la década de 1960, destaca por encima del resto la intrusión en el mercado las motocicletas japonesas donde modelos como la Honda CB450 y la Suzuki T500 combinaban un diseño sofisticado con un rendimiento en muchos casos extraordinario y dando un primer aviso de las motos que sucederían después de estas.

Es para el 1970, donde muchas innovaciones son aplicadas a las motocicletas empezando en 1969 donde Honda lanza la CB750. Esta maravilló al mundo del motor debido a sus cuatro cilindros en línea, que sería adoptado por el resto de las marcas japonesas marcando una nueva era. Al final de la década de los setenta, las marcas japonesas habían ofrecido una amplia e increíble diversidad de superbikes, las cuales contaban con dos, tres y seis cilindros. Algunas de estas motocicletas tenían una potencia superior a los cien CV. Los fabricantes europeos también vieron el potencial del mercado de las motocicletas, y entraron en él con modelos extravagantes y nuevos.



*Ilustración 16 Honda CB750*

En la década de 1980, se experimenta el refinamiento de las superbikes, donde la tendencia gira en torno a una mayor potencia y un mayor tamaño. Es cuando se empiezan a ver grandes motocicletas y pesadas con motor de varios cilindros refrigerados por aire, bastidor de acero tubular y doble amortiguador trasero. Visto este punto de flaqueza, donde eran máquinas poco óptimas, durante los siguientes años se produciría un refinamiento de del rendimiento y potencia adicional. Es por eso, que, gracias a este proceso, se da lugar a las superbikes con motor de refrigeración por agua, bastidor de aluminio, suspensión trasera de mono amortiguador y, algo muy importante e innovador para aquel entonces, un carenado aerodinámico. Hacia el final de la década, la superbike definitiva era una máquina más pequeña, ligera y sofisticada.

La década de 1990, las superbikes mejoran a pasos agigantados siendo mucho más rápidas, llegando a alcanzar velocidades de más de 241km/h. El manejo de las máquinas estándar, las producidas en serie, era igual al de las motos de competición de unos años antes. Los avances tecnológicos estaban allí para todos aquéllos que podían permitírselos, como los pistones ovalados de Honda o las suspensiones delanteras sin horquilla de Yamaha y Bimota. A pesar de las innovaciones, muchos usuarios de motocicletas preferían máquinas más convencionales, y por ello la mayoría de las mejores superbikes de la época, eran versiones mejoradas de formatos establecidos, como las bien diseñadas dos cilindros en V de Ducati o las rápidas y ligeras cuatro cilindros japoneses. Para los que buscaban velocidad pura, la mejor que había en el mercado era la aerodinámica de la Hayabusa de Suzuki.



*Ilustración 17 Suzuki Hayabusa*

Como se ha podido observar la evolución de la motocicleta a lo largo de la historia es algo que siempre ha dependido de la demanda y la cantidad de gente partidaria de utilizar este medio de transporte. Una parte crucial del aumento de este sector ha sido la innovación tecnológica y el



proceso evolutivo al cual ha sido sometido este medio de transporte, pero ha dependido mucho de las necesidades que este tipo de vehículo puede saciar o cubrir a su usuario.

## 2.3 Tipos de bastidores de motocicleta

En este apartado se clasificarán los tipos de bastidores que se pueden encontrar según la integridad estructural y según el tipo de estructura que estos tienen. Dentro de cada una de estas categorías se encontrará una clasificación más detallada.

### 2.3.1 Según su integridad estructural

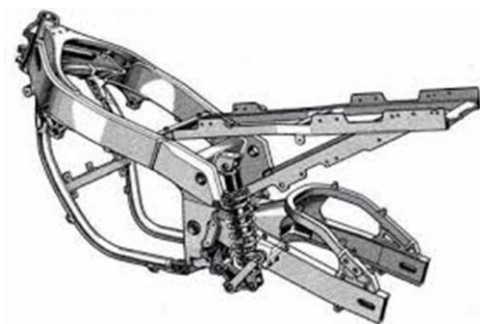
Según la integridad estructural de los bastidores de motocicleta se puede diferenciar entre dos tipos, los portantes y los autoportantes. La principal diferencia entre estos dos tipos de estructura es debido a la funcionalidad o utilización del motor de forma estructural como la parte principal de esta.

#### 2.3.1.1 Bastidor portante

Los bastidores portantes no utilizan el motor como parte de la estructura y todos los componentes han de ser aguantados o soportados por el por el bastidor a parte de tener que sostener todo el peso del motor. Ante esto el bastidor, recibirá un papel de columna vertebral de toda la motocicleta.

#### 2.3.1.2 Bastidor autoportante

Los bastidores autoportantes utilizan todo el conjunto motor para mantener la integridad de todo el bastidor y cerrar con este componente toda la estructura de la motocicleta. Se aprovecha la rigidez del motor, que contiene esta cualidad de manera intrínseca, para mantener la estructura del bastidor permitiendo aligerar peso y mantener la resistencia a las tensiones externas del mismo.



*Ilustración 18 Ejemplo de chasis y bastidor respectivamente*

### 2.3.2 Según el tipo de estructura

Según el tipo de estructura que adopte el bastidor se pueden clasificar en tres grandes grupos: tubulares, de doble biga y monocascos. Donde cada una de estas categorías tendrá una características y propiedades diferentes.

#### 2.3.2.1 Chasis tubular

Se entiende por chasis tubular todos aquellos chasis que están formados a partir de tubos de sección circular de diferentes diámetros donde también se complementa la posibilidad de combinarlo con tubos de sección rectangular para dar lugar a la creación de otras partes secundarias como el subchasis. La idea de estos tipos de chasis se basa en la unión por soldadura todos los tubos que este contenga por tal de dar lugar a una estructura rígida capaz de soportar todas las solicitaciones de fuerzas provocadas por la conducción y que esta proporcione una flexibilidad suficiente para proporcionar una cómoda conducción al piloto.

Normalmente este tipo de chasis siempre han sido fabricados a partir de acero debido a sus buenas propiedades mecánicas y su facilidad de soldadura, pero hoy en día estas estructuras de acero han sido reemplazadas por el aluminio ya que también aporta unas muy buenas propiedades mecánicas y con el tiempo se han encontrado nuevas tecnologías y formas de proceder a la soldadura de este material, debido a que el aluminio tiene el punto de deformación plástica muy bajo. Además, cabe destacar que el uso del aluminio en este tipo de estructuras permite una reducción y aligeramiento del peso de la estructura.

A parte de estos dos tipos de materiales, acero y aluminio, son dignos de mención los chasis que son fabricados en materiales con muy buenas propiedades mecánicas con sus correspondientes ventajas y desventajas como son el titanio, magnesio y fibra de carbono los cuales han sido posibles gracias a la investigación y desarrollo de diferentes técnicas de construcción.

A continuación, se presentan los diferentes tipos de chasis tubulares principales o más destacados que se pueden encontrar actualmente.

##### 2.3.2.1.1 Chasis de simple cuna cerrado

El chasis de simple cuna cerrado es aquel en el cual solo desciende un tubo desde la columna de dirección pasando por debajo del motor y formando una cuna la cual alberga el motor en su interior haciendo de este un chasis portante a partir de los tubos soldados. En este tipo, el chasis tiene una línea continua desde la pipa de dirección hasta la zona del basculante.

Este tipo de chasis se daba uso o era muy común en motos no deportivas de bajas prestaciones ya que la rigidez peso potencia es poco favorable haciendo que actualmente este tipo de chasis prácticamente haya desaparecido.

#### 2.3.2.1.2 Chasis de simple cuna abierto

El chasis de simple cuna abierto es una variante del chasis de simple cuna cerrado donde su diferencia principal frente a este es que el perfil en la parte inferior está interrumpido al llegar a la zona motor dejando espacio para su colocación, siendo el motor el que cierra esta parte del chasis haciéndolo autoportante. Este hecho, hace que la estructura del chasis sea mucho más rígida y resistente.

Este tipo de chasis es muy común, debido a su bajo coste económico, en las motocicletas de pequeñas cilindradas como de 125cc y 250cc, así como en la mayoría de las motocicletas de trail.

#### 2.3.2.1.3 Chasis de simple cuna desdoblado

El chasis de simple cuna desdoblado es otra variante del chasis de simple cuna donde desde el bloque de dirección desciende un tubo único que se desdobra, delante o debajo del motor, en dos tubos que llegan hasta la zona del basculante haciendo de este un chasis portante, ya que el motor se aloja dentro del chasis sujetado por ambos tubos. Este tipo de chasis se usa habitualmente en motocicletas de campo y Trail.

#### 2.3.2.1.4 Chasis de doble cuna

El chasis de doble cuna es aquel del cual descienden dos tubos desde la pipa de dirección pasando por debajo del motor formando una cuna y sujetando el motor por los laterales en su parte inferior llegando al basculante por separado haciendo este chasis de tipo portante.

Estos chasis son más rígidos que los de simple cuna ya que forman una estructura mucho más sólida. En muchos casos la cuna o parte inferior de este va atornillada para facilitar su desmontaje a la hora de introducir el motor.

Este tipo de chasis es muy común en motocicletas del tipo “custom” y en los años 80 era el típico de las motocicletas de grandes cilindradas.

#### 2.3.2.1.5 Chasis monoviga o de espina central

El chasis monoviga o de espina central es un tipo de chasis tubular en el que el tubo por la parte superior de la motocicleta en vez de por la parte inferior, provocando unas grandes dimensiones del tubo y tomando el papel de comportamiento como una viga. El hecho que el tubo vaya por la parte superior supone que el motor quedará colgado por su parte superior a este bajo el perfil

tubular. Es por eso que este tipo de chasis ha de tener unos soportes laterales para poner acomodar el motor más fácilmente al motor.

Este tipo de chasis se ha implementado en algunos modelos de motocicleta como en la Honda CB 600 F Hornet y en la Triumph Trophy 900 de 1997.

#### 2.3.2.1.6 Chasis multitubular o tubular triangulado

El chasis multitubular consiste en dos vigas de aluminio a cada lado del motor, pero compuestas por tubos rectos y cortos, colocados a modo de celosía que unen el cabezal de dirección con la zona del eje trasero. Los tubos que conforman la celosía en el chasis son tubos rectos y cortos que suelen ser de secciones circulares y de acero al cromo molibdeno debido a su alta resistencia, lo cual proporcionará una gran rigidez al chasis. Estos tubos se diseñan para que solo trabajen a tracción o a compresión donde se utilizaba el motor como parte estructural de dicho chasis por tal de darle más consistencia estructural.

Se puede decir que este tipo de chasis reúne lo liviano de la estructura tubular y la resistencia del aluminio dando como resultado un chasis muy sólido y ligero, siendo fácil de fabricar y de bajo coste. Este tipo de chasis, actualmente, es muy característico de Ducati.

#### 2.3.2.2 Chasis de doble viga

Este grupo reúne a todos los chasis que se estructuran por dos vigas de sección rectangular como pieza única donde podemos encontrar dos tipos: chasis de doble viga perimetral abierto y cerrado.

##### 2.3.2.2.1 Chasis doble viga perimetral

El chasis de doble viga perimetral es el tipo de chasis más utilizado en motos deportivas. El tipo de estructura que presenta este tipo de chasis está definido por dos vigas de elevada sección rectangular, una a cada lado del motor, como pieza única que une el tren delantero, donde se sitúa grupo de dirección de la moto, con el bastidor acabando en el eje del basculante. Las vigas abrazan perimetralmente al motor por su parte superior y estas suelen ser de aleaciones de aluminio y por la parte inferior de este se encuentran los anclajes al motor.

En algunos casos se incorporan aberturas en las vigas por tal de permitir el paso del aire hacia la admisión. Estos tipos de chasis pueden ser fabricados por fundición, laminación o extrusión o mediante una combinación de estos tipos de procesos.

En este tipo de chasis el cabezal de la dirección y la zona del anclaje del basculante son las zonas que sufren los mayores esfuerzos es por ello por lo que estas dos zonas o partes suelen ser fabricadas mediante fundición.

Este tipo de chasis es el que permite o da una mayor libertad de diseño a la hora de crear formas u optimizar dicho chasis por tal de aligerar peso, pero manteniendo sus propiedades mecánicas como la rigidez y consistencia estructural. Además, este tipo permite o da la posibilidad de obtener una mejor cohesión de los diferentes elementos de la motocicleta y ser mucho más predecible a la hora de ser simulado.

#### 2.3.2.2.2 Chasis doble viga perimetral cerrado

El chasis de doble viga perimetral cerrado es una variante del chasis de doble viga y que apareció anteriormente. En este caso, aparte de disponer las dos vigas que abrazan el motor en su zona superior por los laterales se encuentran otros dos tubos que parten desde la zona de dirección pasando por la parte inferior del motor hasta llegar al motor dando lugar a una cuna donde situar el motor haciéndolo a este portante.

Este tipo de chasis es visto en motocicletas deportivas de los años 90 como en la Suzuki GSX R 750 de 1993 o la Kawasaki ZXR 750 de 1990.

#### 2.3.2.3 Chasis monocasco

El chasis monocasco es un tipo de chasis autoportante de chapa estampada que hace las funciones de chasis y de carrocería. Es una técnica que se utiliza en su mayoría en el sector de la automoción. Es un tipo de chasis muy inusual en otros modelos de motocicletas que no sea en la marca conocida Vespa, sin embargo, se ha utilizado en algunas motocicletas deportivas como por ejemplo la Kawasaki ZX12R de 2005 o la ZZR 1400 el cual está fabricado en una aleación de aluminio, en el que el chasis además hace la función o forma parte de la caja de admisión-airbox.

#### 2.3.2.4 Otros tipos de chasis

En este apartado se mencionan algunos otros tipos de chasis dignos de mención debido a sus características o su innovación.

##### 2.3.2.4.1 Chasis tipo Omega

El chasis tipo Omega, es un tipo de chasis muy inusual que se denomina así por su parecido con la última letra del alfabeto griego. La horquilla delantera tiene una forma más similar a un basculante, pero aun ya sí este permite el giro para cambiar de dirección. Además, se utilizan estructuras de entramados tubulares para soportar el cabezal de dirección.

Este tipo de chasis se puede encontrar en la Bimota Tesi y en la Yamaha GTS donde en esta última además incorpora un basculante monobrazo.

## 2.4 Historia y evolución del basculante

El basculante de la motocicleta es un elemento que ha ido evolucionando juntamente con el sistema de suspensión trasero, ya que depende mucho del basculante y como se instala en él, y ha ido variando según las necesidades de dicha suspensión. El diseño del sistema de suspensión ha condicionado a la geometría de todo el resto de la motocicleta.

Los primeros chasis contaban con un basculante totalmente rígido, que se unía desde la pipa de dirección, y que iba anclado directamente en el triángulo anterior como consecuencia que las primeras motocicletas carecían de suspensión trasera.

En los años cuarenta, cuando aparecieron las primeras motocicletas con sistema de suspensión trasera estos eran muy sencillos que los fabricantes implementaron por tal de aumentar el confort del piloto. Estos primeros mecanismos de suspensión trasera afectaban a la inestabilidad y flexibilidad de la motocicleta, como se dio en el caso de la Norton Garden Gate. Mas tarde, en 1950, Norton sacó un nuevo modelo “Featherbed” la cual integraba un nuevo sistema de suspensión trasera que conseguía reducir las vibraciones e incomodidades de un conjunto rígido, pero sin reducir sus propiedades dinámicas y de estabilidad.



*Ilustración 19 A la izquierda la Norton Garden Gate y a la derecha la Norton Featherbed*

Durante estos primeros años del desarrollo de las suspensiones traseras aparecieron nuevos tipos de basculante como el triangulado por tal de aumentar la rigidez de estos o sin triangular, pero de sección variable. Estos sistemas basaban su rigidez torsional en el uso de dos amortiguadores traseros, a ambos lados de la rueda trasera, que unían el basculante con el chasis. Algunos fabricantes de la época se dedicaron a la venta de amortiguadores anteriormente seleccionados con tal de reducir el comportamiento asimétrico que sufrían estas motocicletas habiendo diferencias entre ambos amortiguadores por tal de mejorar la conducción tanto en curvas a izquierda como a derecha.

Durante los siguientes años se empezaron a establecer los basculantes triangulados, haciéndolos de esta manera más rígidos, y substituir esos dos amortiguadores por uno solamente, central y más cerca del centro de la motocicleta. Estos cambios empezaron a ser aplicados en las motocicletas de competición de la época. A partir de aquí se comenzaron a ver distintas variantes, donde se destaca una donde se basaban en la optimización de formas y geometrías más que en el diseño del basculante. En los intentos de bajar el centro de gravedad de la motocicleta, se comenzó a triangular por debajo de la línea que une el eje de pivote con el chasis y el eje de la rueda.

Finalmente, los basculantes han ido evolucionando hasta el día de hoy según los sistemas de suspensión traseros aplicados y también según el tipo de materiales utilizados para su construcción, como aleaciones de aluminio muy ligeras vaciadas y optimizadas en su interior.

## 2.5 Tipos de basculantes de motocicleta

Como se ha podido observar los basculantes han ido variando, evolucionando e innovándose a lo largo de su existencia dando lugar a diferentes tipos de basculantes y variantes de estos según las necesidades a cubrir y según el tipo de mecanismo de suspensión trasera que se utilice en la motocicleta.

En este apartado se analizarán los principales tipos de basculante que se pueden encontrar en las motocicletas.

### 2.5.1 Basculante monobrazo

El basculante monobrazo es un tipo de basculante donde el eje está sujeto solamente por uno de sus extremos y el brazo oscilante solo rodea la rueda por uno de sus lados. Dentro de los basculantes monobrazo se pueden encontrar de sección tubular o de sección variable, incluso algunos de estos el conjunto del motor queda integrado en el propio basculante.

Este tipo de basculantes han sido muy característicos de grandes marcas como Ducati, Honda empleándolo en variedad de motocicletas deportivas y de competición, BMW empleándolo de forma exclusiva en sus modelos de transmisión por cardán y MV Augusta en su superbike F4.



*Ilustración 20 Basculante monobrazo*

### 2.5.2 Basculantes tubulares

El basculante tubular es un tipo de basculante que destaca por la utilización de perfiles circulares o cuadrados, mayoritariamente, que se configuran entre sí para dar lugar a una estructura rígida por tal de soportar las solicitaciones de la motocicleta, mejorar sus capacidades a torsión y a flexión.

Las secciones utilizadas con más frecuencia siempre han sido las de tipo circular, pero con el tiempo se han ido introduciendo los basculantes de sección rectangular para motocicletas ligeras o motocicletas con niveles de potencia moderados.



*Ilustración 21 Basculante tubular*



### 2.5.3 Basculantes de sección variable

Los basculantes de sección variable son aquellos que tienen una complejidad intrínseca en su estructura la cual requiere distintas piezas con secciones variables, chapas dobladas, etc., que finalmente darán resultado a un conjunto terminado. Al contrario que en los basculantes tubulares, muchas de las piezas que formarán los basculantes de sección variable no están estandarizadas y será necesaria su fabricación por fundición o incluso por forja y finalmente serán unidas mediante soldadura por tal de formar el conjunto acabado.



*Ilustración 22 Basculante de sección variable*

## 2.6 Historia y evolución de los carenados de una motocicleta

Al principio de los años 50 se inicia la aparición de los primeros carenados. En las primeras motocicletas de competición de los campeonatos mundiales de motociclismo estas incorporaban una placa frontal con el dorsal y una pequeña cúpula que resguardaba al piloto del viento. Durante este mismo tiempo los carenados de las motocicletas fueron evolucionando, dando lugar a famosos carenados como el “dustbin” o también conocido como “cubo de basura” el cual cubría completamente la rueda delantera y el conjunto chasis motor. Debido a la ausencia de limitaciones en las medidas y diseños permitieron la aparición y variantes de todo tipo de inventos y artilugios, destacando en algunos con un gran impacto estético pero poca efectividad.

El material más utilizado en dicha época fue el aluminio ya que destacaba por su ligereza y su facilidad de moldeado.



*Ilustración 23 Montesa Sprint 125*

En el año 1955, Montesa saca su primer modelo con un carenado fabricado en fibra de vidrio, la Montesa Sprint 125, primera en contener un carenado fabricado en este material. A raíz de los avances, las diferentes marcas que competían en el Campeonato Mundial de Motociclismo comenzaron a desarrollar sus propios trabajos y estudios sobre la efectividad del carenado donde se buscaba siempre reducir la resistencia de sus prototipos al viento y mejorar la aerodinámica.

En el 1958 es cuando llegan las primeras limitaciones a las medidas y diseños de carenados, es a partir de aquí, cuando empieza una época de cambio radical para los carenados de las motocicletas. Se consideraba que estos agregaban demasiado peso a las motocicletas y eran peligrosos en caso de viento lateral al disponer de tanta superficie. Una moto muy trabajada aerodinámicamente hablando fue la Honda NR500 de 1979 con un chasis monocasco, radiadores laterales y horquilla carenada.

Los materiales utilizados también fueron evolucionando con el paso de los años. Durante las décadas de 1950 y 1960 el material más común fue el aluminio el cual, a partir de la década de 1970, cambiaría a la fibra de vidrio, cuya reparación era extremadamente fácil, sencilla y económica.

La llegada de los primeros patrocinadores al mundo de la competición, el carenado pasó a desempeñar una nueva función, convirtiéndose en el principal soporte publicitario de una motocicleta. Los patrocinadores empezaron a utilizar las superficies de los laterales de los carenados para situar sus logotipos y colores representativo, significando de esta manera una nueva era en el Campeonato del Mundo de Motociclismo.

En la década del 1990, se dio un paso adelante en los materiales de construcción de los carenados, donde la fibra de vidrio cede su protagonismo a la fibra de carbón y, más tarde, a la mezcla de esta con kevlar. Estos dos materiales rápidamente se hicieron los principales materiales destacables en el Mundial, ya que presentaban muy buenas cualidades como su gran resistencia, ligereza y facilidad de reparación. En cambio, su precio no va en consonancia con las ventajas de sus buenas propiedades.

Hoy en día, estos dos componentes, precio y propiedades, son los que siguen marcando las pautas en cuanto a los materiales utilizados para producir los carenados. Gracias a sus características técnicas, permiten diseñar y crear carenados mucho más ligeros, ya que no son necesario aplicar tantas capas de estos materiales por tal de lograr la rigidez necesaria. Otras técnicas por tal de conseguir dichas características es la utilización de diminutas varillas transversales entre las diferentes capas de fibra de carbono y kevlar.

### 3 Diseño

La fase de diseño es de las fases más importantes de un proyecto ya que en esta fase es donde se buscará un diseño, para su posterior optimización y modificaciones, el cual cumpla todos los requerimientos necesarios para que ese diseño sea apto y finalmente acabe siendo fabricado.

En este apartado se expondrán todos los datos de partida generales de la motocicleta que se tendrán en cuenta a la hora de diseñar. Una vez estos estén establecidos se concretará la geometría que adoptará el prototipo finalmente mediante un análisis y estudio de los parámetros que se tienen en cuenta en una motocicleta para su posterior dimensionamiento definitivo. Una vez se tiene los límites establecidos, que adoptará la motocicleta, se procederá al diseño del chasis donde se expondrán las diferentes propuestas analizadas, donde finalmente se indicará la línea de diseño que se ha escogido. De la misma manera se realizará este procedimiento para el diseño del basculante y del carenado de la motocicleta donde además en cada de uno de estos apartados se expondrán los datos de partida específicos para dicho departamento juntamente con un análisis de la elección del tipo de bastidor, basculante o carenado que se llevará a cabo.

#### 3.1 Datos de partida generales

Los datos de partida que restringirán el diseño de la motocicleta se encuentran en el reglamento oficial de la competición de MotoStudent 2020 versión 4. A parte, hay elementos principales de la motocicleta que la misma competición impone, mediante el Kit MotoStudent, lo cual también condicionará el diseño del prototipo.

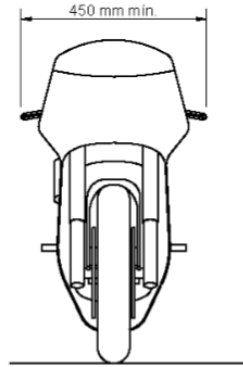
El Kit MotoStudent, para los equipos inscritos en la categoría “MotoStudent Electric” consta de los siguientes componentes:

- Motor eléctrico
- Dispositivo Vigilante de aislamiento (IMD)
- Un juego de neumáticos slick delantero y trasero.
- Pinzas y bombas de freno

Los componentes incluidos en este kit llevan incluidos un marcaje identificativo el cual ha de permanecer intacto ya que será revisado por el Cuerpo Técnico de la Organización en el Evento Final por lo que estos no podrán ser modificados y se han de mantener en su estado original.

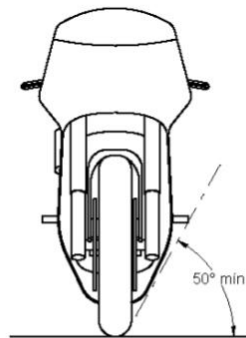
En cuanto a las dimensiones y otros puntos que se han de respetar, que servirán como datos de partida de los diseños, se tratan a continuación:

- La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares debe ser de 450mm.



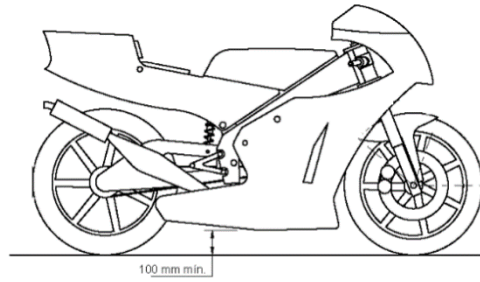
*Ilustración 24 Anchura mínima entre los extremos de los semimanillares*

- El ángulo mínimo de inclinación lateral del prototipo sin que ningún elemento del mismo toque el pavimento debe ser de 50°. Esto se hará con el prototipo descargado, es decir, sin piloto, pero teniendo en cuenta todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento.



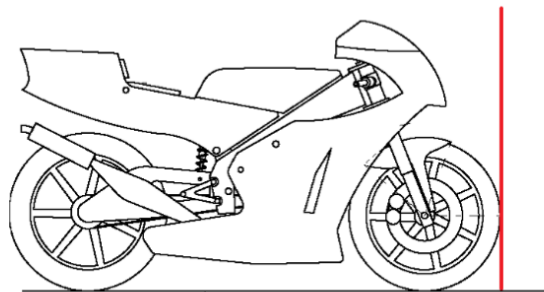
*Ilustración 25 Ángulo mínimo de inclinación*

- La distancia libre al pavimento con el prototipo en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100mm en situación de reposo. Esto también se hará con el prototipo descargado (es decir, sin piloto), pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento.



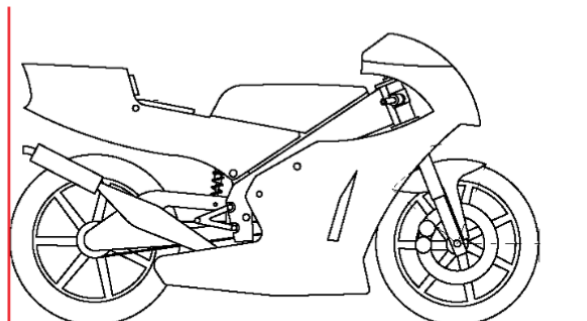
*Ilustración 26 Altura mínima respecto al suelo*

- Existencia de un límite frontal donde ningún elemento podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.



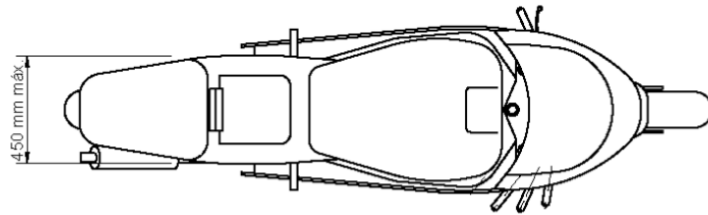
*Ilustración 27 Límite que no deben sobrepasar los elementos por la parte anterior de la motocicleta*

- Existencia de un límite posterior donde ningún elemento podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático trasero.



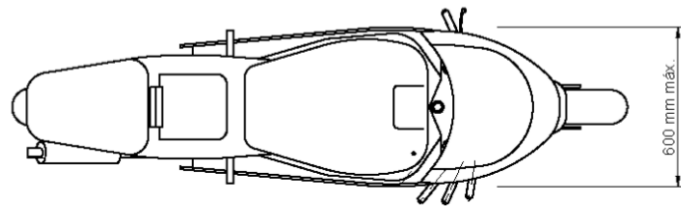
*Ilustración 28 Límite que no deben sobrepasar los elementos por la parte posterior de la motocicleta*

- La banda de rodadura de los neumáticos deberá presentar una distancia libre mínima de 15mm a lo largo de toda la superficie a cualquier elemento del prototipo, en cualquier posición del mismo y para cualquier reglaje de geometrías.
- La anchura máxima del asiento no debe rebasar los 450mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento del prototipo del asiento hacia detrás.



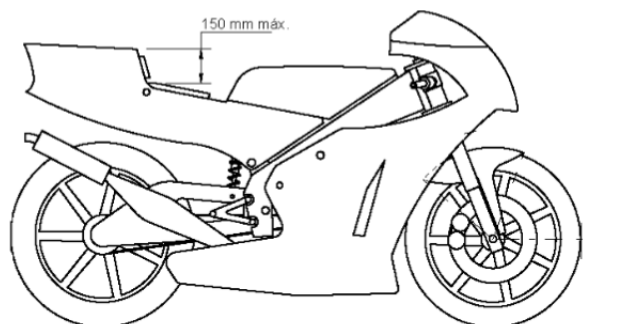
*Ilustración 29 Anchura máxima del asiento*

- La anchura máxima del carenado será de 600mm.



*Ilustración 30 Anchura máxima del carenado*

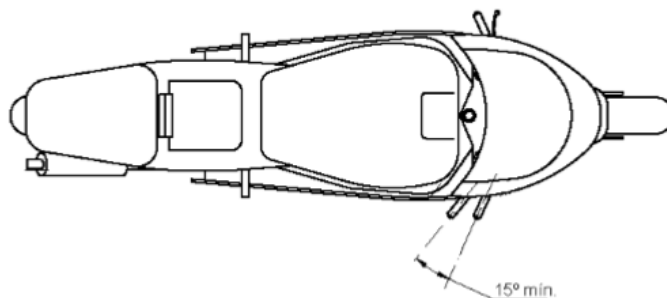
- Entre la altura del asiento y la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150mm.



*Ilustración 31 altura máxima entre asiento y colín*



- El ángulo de giro mínimo de la dirección deberá ser de  $15^\circ$  medidos a cada lado del eje longitudinal del prototipo.



*Ilustración 32 Giro mínimo de la dirección*

- El ángulo de giro deberá ir limitado con topes en ambos lados. Dichos topes deberán estar fabricados en nailon, aluminio o materiales de dureza similar. Ni el chasis, ni cualquier otro componente del prototipo podrá actuar como tope de dirección.
- En todo el recorrido de la dirección no deberá existir ningún elemento que interfiera en una tolerancia de 30mm entorno a los puños del manillar y accionamientos. El objetivo es evitar daños en las manos y dedos del piloto en caso de caída.
- El peso mínimo total del prototipo sin piloto será de 95kg.
- No está permitido el uso de un chasis comercial, ni tan siquiera una unidad modificada. Deberá tratarse de un chasis prototipo de diseño y fabricación propia, donde en esto incluye a un chasis principal, subchasis y basculante.
- No hay limitaciones en el tipo de diseño o materiales utilizados para la fabricación de chasis, basculante o subchasis, siempre y cuando el resultado cumpla con la normativa impuesta en el presente Reglamento.
- El chasis deberá diseñarse de forma que todos los elementos del motor, sistemas eléctricos y electrónicos de control y seguridad queden protegidos en caso de caída.
- Está permitida la soldadura de elementos estructurales por cualquier medio, pero deberá resultar una estructura consistente.
- En las estructuras de tipo celosía se deberá buscar la correcta triangulación en los nodos de la estructura.
- Si por su diseño, el basculante no cubre la zona inferior de la cadena o correa de transmisión, se deberá instalar un protector que prevenga atrapamientos entre el recorrido inferior de la cadena o correa y la corona de transmisión.

## 3.2 Geometría y parámetros de diseño

Los parámetros geométricos de una motocicleta son las variables que diferencian unas motocicletas de otras. Estas variables o parámetros son las que definirán y condicionarán el comportamiento de la motocicleta, tanto su comportamiento dinámico como el pilotaje que se requerirá. En el ámbito de la competición todos estos aspectos son de vital importancia ya que en este caso el vehículo requiere una óptima configuración para su total rendimiento, donde un cambio de milímetros en una de estas variables puede tener efectos tremendamente adversos. Es por ello que en este apartado se analizarán los parámetros que la definen, donde encontramos: distancia entre ejes, centro de gravedad, reparto de pesos, avance, ángulo de lanzamiento, ángulo del basculante, longitud de basculante, rigidez del chasis, squat y offset.

### 3.2.1 Distancia entre ejes

La longitud entre ejes es la longitud que se encuentra entre el eje de la rueda delantera y el eje de la rueda trasera. Este es un parámetro que influye mucho a la hora de dar estabilidad a una motocicleta ya que una distancia entre ejes larga implica muy buena estabilidad en línea recta y una distancia entre ejes corta implica buena estabilidad en curva. A parte, se ha de contar con un ajuste de entre 20-40mm para el tensado de la cadena.

Generalmente, para una motocicleta de una cilindrada de 125cc tiene una distancia entre ejes de hasta 1310mm aproximadamente, cuando esta distancia es superior ya se sitúan motocicletas de 250cc adoptando distancias de hasta 1350mm y las motocicletas de 500cc pueden presentar hasta una distancia de 1450mm. Se puede decir, conforme a dichos valores, que cuanto más grande sea nuestra distancia entre ejes tendremos una gran estabilidad en recta, pero si se opta por una distancia corta entre esta será poco estable en recta y más cómoda en el paso por curva.

### 3.2.2 Avance

El avance es la distancia horizontal que hay desde el punto de contacto del neumático con la superficie del suelo hasta el punto de intersección del suelo con la prolongación del eje de dirección.

Dicho avance proporcionará estabilidad direccional y, a su vez, un efecto corrector en la dirección. Este efecto corrector es de gran ayuda al principio y al final de las curvas ya que provoca un brazo de palanca en el momento en el que la dirección de la motocicleta no es en línea recta.

Se podría pensar que teniendo una mayor distancia de avance sería más adecuado pero demasiada estabilidad acabaría generando una dirección pesada y poco ágil. En competición esta variable oscila entre 85 y 100mm.

### 3.2.3 Excentricidad de la horquilla

La excentricidad u offset es la distancia entre el eje de dirección y la línea paralela que pasa por el eje de la rueda delantera. Si la horquilla está centrada con el eje de la rueda la excentricidad estará producida únicamente por las pletinas que fijan el eje de dirección. Las pletinas o su posibilidad de cambio, es un buen método para variar la excentricidad y así el avance sin variar el ángulo de dirección. De forma contraria al avance, la excentricidad no tiene unas medidas muy establecidas, pero generalmente oscila entre 25 y 30mm.

### 3.2.4 Ángulo de dirección

El ángulo de dirección es el ángulo formado por el eje de dirección con la vertical, aunque algunas veces el ángulo de dirección también se da como el formado por el eje de dirección y la horizontal. Independientemente de la cilindrada, los ángulos de dirección de una motocicleta de competición oscilan entre los 22° y los 25°.

### 3.2.5 Centro de gravedad

La distribución de peso viene determinada por la localización de las distintas partes, especialmente las más pesadas, como el motor, horquilla, ruedas y piloto. El resultado total se define por la localización del centro de gravedad. Esta distribución controla muchos aspectos del rendimiento dinámico de la máquina. La realización de pequeños cambios en la localización del centro de gravedad puede conllevar a mejoras significativas con respecto a la manejabilidad, tracción y aceleración de la motocicleta. A su vez se han de cumplir varios requerimientos, en concreto tres.

El primero es que todos los componentes han de tener una localización físicamente aceptable dentro del conjunto de la motocicleta. Segundo, la posición del piloto es otro de los puntos principales en este punto ya que ha de ser una posición que sea confortable para el piloto y que esta reduzca la resistencia aerodinámica del prototipo. Por último, aparte de obviar la situación de un punto de gravedad óptimo, es la geometría del basculante ya que esta ha de ser aceptable y no debe tener excesiva tendencia de pro-squat o anti squat.

Otro aspecto a tener en cuenta, en cuanto a la situación del centro de gravedad, cada vez que se acelera o frena la motocicleta en esta se produce una transferencia de carga, lo que significa que inicialmente el peso del prototipo queda soportado por ambos neumáticos de la

motocicleta. Por ejemplo, en el momento de frenada parte de esta carga se transferirá al neumático delantero. La transferencia de carga en una moto puede ser ocasionada por cuatro situaciones o parámetros principales.

Primero, puede ser por una cuestión inercial, lo cual vendrá provocado por las fuerzas necesarias para acelerar o frenar la moto. La segunda cuestión por la cual puede ser ocasionado es debido a la aerodinámica de esta donde la fuerza de resistencia aerodinámica tenderá a levantar la parte delantera de la moto y cargar la trasera. La tercera razón por la que se puede producir esta transferencia de carga es por una cuestión posicional, cuando se acelera el peso será transferido hacia la parte de atrás haciendo que el neumático trasero aguante más peso. Y por último, como cuarto punto, puede ser ocasionado por el momento de reacción que aparece al acelerar el cigüeñal, el embrague, etc. Este punto se aplica en aquellas motocicletas que tengan un motor transversal donde se tiene un cigüeñal girando hacia delante transfiere cierta carga a la parte trasera y un cigüeñal girando hacia atrás reduce la carga en el tren trasero.

La transferencia de carga es proporcional a la masa de la moto, la altura del centro de gravedad y la aceleración, e inversamente proporcional a la distancia entre ejes. Por lo tanto, esto hace que los únicos parámetros que importan son la distancia entre ejes, la altura del centro de gravedad, la aceleración y la masa de la moto y el piloto. A su vez, se observa que la posición longitudinal del centro de gravedad no afecta a la transferencia de carga, pero sí que afecta a la carga que soporta cada rueda.

Por tal de evitar volcar hacia atrás con una aceleración mínima de  $1G$ , es decir  $9.8m/s^2$ , el centro de gravedad no ha de situarse más alto de la línea que se puede dibujar a  $45^\circ$  desde el punto de contacto de la rueda trasera de la motocicleta con el suelo. A su vez, se puede observar que si dicho centro de gravedad se adelanta, este se puede elevar más.

### 3.2.6 Ángulo de basculante

El ángulo del basculante es el formado entre la horizontal y una línea que une el centro de la rueda trasera con el punto de pivotamiento.

Al aplicar una aceleración y un par sobre la rueda trasera el basculante puede tender a comprimir o extender la suspensión trasera debido a la transferencia de carga ocasionada. Al variar la inclinación del basculante se varía el squat de la motocicleta por lo que tendrá un comportamiento u otro totalmente diferente según el ángulo de inclinación de esta. Por lo general, se busca que el comportamiento de la suspensión trasera trabaje a compresión haciendo que cuando se acelere la motocicleta esta se comprima aumentando, de esta manera, la distancia entre ejes dando una mayor estabilidad en el momento de aceleración.

Las motocicletas actuales suelen comprimirse debido a este fenómeno entre 7 y 15 mm y los basculantes suelen poseer un valor de inclinación de entre 5° y 15° por debajo de la horizontal.

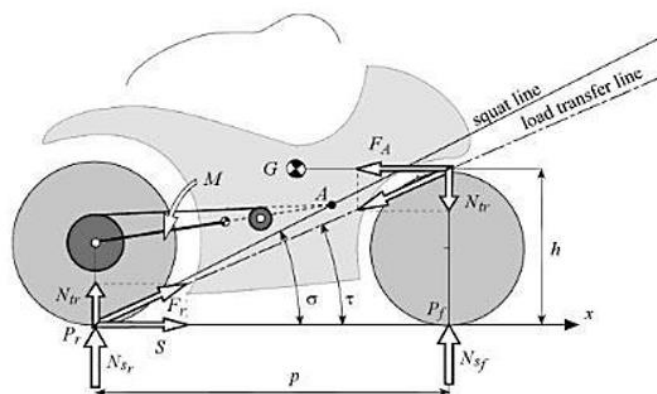
### 3.2.7 Longitud del basculante

La longitud del basculante es la distancia que hay entre el punto de pivotamiento y el eje de la rueda. Este parámetro como tal no afecta a las características dinámicas de la motocicleta, pero normalmente cuanto más longitud presente el basculante mayor será la distancia entre ejes de la motocicleta y menor será la inclinación de este. Un basculante corto mejora el comportamiento de la motocicleta, pero es preferible tener un ángulo de inclinación pequeño por tal de favorecer también al comportamiento de esta. Es por eso que se ha de llegar a un acuerdo entre un buen ángulo de basculante y una distancia entre ejes deseada. En el mundo de la competición este valor ronda los 515mm de longitud.

### 3.2.8 Squat

El squat es la relación del hundimiento trasero existente entre el momento generado por la transferencia de pesos y el momento generado por la suma de la fuerza de la cadena y la fuerza de transmisión. Se denomina al ángulo de hundimiento como “ $\sigma$ ”.

La relación del hundimiento varía según lo hace el ángulo de inclinación del basculante y depende de la diferencia entre el ángulo de inclinación del basculante y el ángulo de la inclinación de la cadena. Dicha diferencia variará en función de la posición del eje del piñón de ataque en relación con la posición del eje de pivotamiento del basculante. En base a todo lo mencionado, se pueden presentar tres casos.



$$\mathfrak{R} = \frac{N_{tr} L \cos \phi}{SL \sin \phi + T L \sin(\phi - \eta)}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{h \cos \phi}{p \left[ \sin \phi + \frac{R_r}{r_c} \sin(\phi - \eta) \right]} = \frac{\tan \tau}{\tan \sigma}$$

Ilustración 33 Análisis del squat

La primera situación que se puede dar es que el punto A, situado sobre la línea de transferencia de pesos, las líneas de transferencia y la línea del hundimiento coincidan. Esto manifestaría que durante la fase de empuje no hay momentos adicionales operando en el basculante donde el muelle no se comprime más comparado a su condición estática.

La segunda situación que se puede encontrar es que el punto A se sitúe por debajo de la línea de transferencia de pesos, es decir la línea de hundimiento se encuentra por debajo de la línea de transferencia de carga. Este hecho provoca un momento generado por la fuerza resultante  $F_R$  causando una compresión en el muelle.

El tercer caso que se puede ocasionar es que el punto A se sitúe por encima de la línea de transferencia de pesos, provocando que la línea de hundimiento se encuentra por encima de la línea de transferencia de carga de tal manera que esto provocaría un momento generado por la fuerza resultante  $F_R$  causando una extensión en el muelle.

### 3.2.9 Rigidez del chasis

Si el chasis no es lo suficientemente rígido para mantener la geometría deseada, los cálculos no tendrán ninguna relevancia. Durante el movimiento son muchas las fuentes de tensión, flexión y torsión que se producen y estas deben ser minimizadas para garantizar un buen comportamiento. Es muy importante mantener un alineamiento de los planos medios de las ruedas y el eje de dirección, si no es así la estabilidad direccional empeorará y la moto tenderá a modificar la dirección.

## 3.3 Dimensionamiento

Una vez se han definido los datos de partida, la geometría y parámetros que se han de tener en cuenta para realizar el diseño de la motocicleta se procede a la definición de las medidas de todos los parámetros a tener en cuenta.

Para la realización del prototipo siempre se ha tenido el objetivo de realizar un prototipo con el mejor comportamiento posible en todos los aspectos y que este sea de lo más óptimo.

Primeramente, se procedió a establecer el reparto de pesos que se aplicaría en el prototipo, el cual es de: 54% del peso total en la parte delantera y de un 46% en la parte trasera. Conociendo estos valores, permite situar el centro de gravedad según el eje horizontal de la motocicleta a partir del siguiente cálculo:

$$X_{CDG} = 1300mm \cdot 0,54 = 702mm$$

Por lo tanto, como se observa en el cálculo anterior se conoce que el centro de gravedad quedará situado a 702mm respecto al punto de contacto del neumático delantero con el suelo. Para sacar el valor del centro de gravedad con respecto el eje vertical, se procederá al cálculo de este a partir de la geometría final del prototipo.

Como primera opción se optó por una moto con una distancia entre ejes de 1340mm por tal de darle estabilidad a la motocicleta. Un ángulo de lanzamiento de  $25^\circ$  por tal de evitar que el tren delantero a la hora de frenada máxima o alguna otra situación límite chocara con el motor o el housing de la batería. Teniendo a su vez un avance de 104.51mm, lo que se pensó que era demasiado alto este valor de avance, y que esto generaría una dirección pesada y poco ágil sobre todo para su paso por curva, por lo que esta primera opción se descartó.

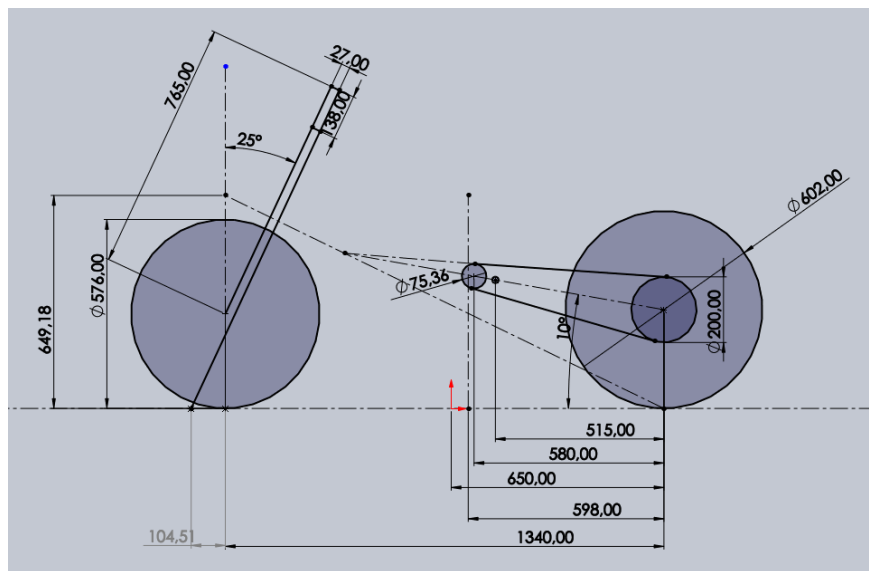


Ilustración 34 Primera propuesta de geometría

Como segunda opción se optó por una geometría más reducida en todos los aspectos dando una distancia entre ejes de 1270mm, por tal de hacer más cómodo el paso por curva. Reduciendo su ángulo de lanzamiento a  $22^\circ$  ya que se llegó a la conclusión que se modificaría el chasis por tal que el tren delantero no chocara con el motor o housing de la batería. A su vez estos parámetros hacen que el avance de la motocicleta se reduzca a un valor de 87,24mm generado poca estabilidad a la motocicleta y mucho más nerviosa.

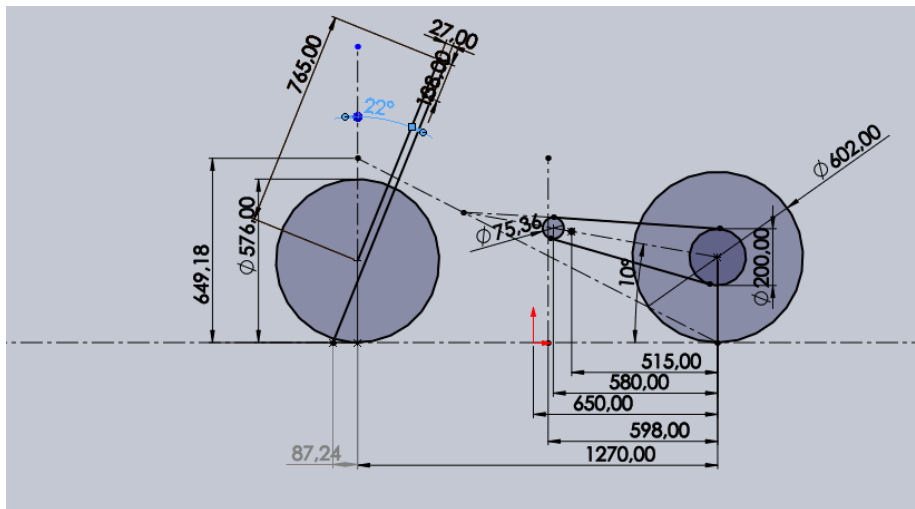


Ilustración 35 Segunda propuesta de geometría

Analizadas las dos opciones anteriores, se llevó a cabo el estudio de una propuesta con valores de punto intermedio en general. Se apostó por una distancia entre ejes de 1300mm contando que con el basculante se puede regular la distancia entre 20-40mm según sea necesario. Un ángulo de lanzamiento de  $23,5^\circ$  y un avance de 95,78mm para darle estabilidad, sobre todo, en recta y haciendo el paso por curva ágil gracias a la corta distancia entre ejes.

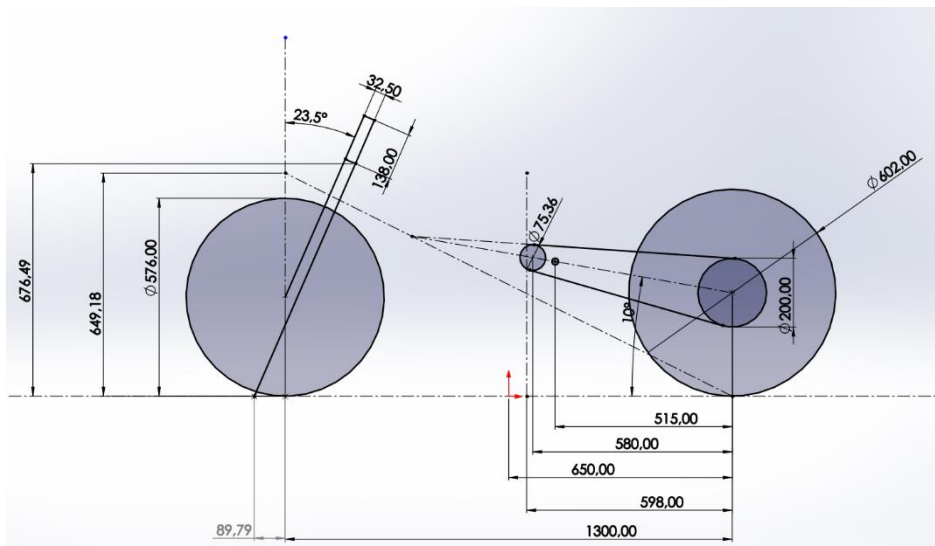


Ilustración 36 Tercera propuesta y definitiva de la geometría

Como se puede observar, los parámetros que definen el prototipo adoptan los siguientes valores:



- Distancia entre ejes: 1300mm.
- Avance: 89,79mm.
- Ángulo de dirección: 23,5°.
- Centro de gravedad: 702mm en el eje de las “X” y 598 en el eje de las “Y”.
- Ángulo de basculante: 10°.
- Longitud de basculante: 515mm.
- Diámetro rueda delantera: 576mm.
- Diámetro rueda trasera: 602mm.

### 3.4 Diseño del bastidor

En este apartado se analizarán desde los datos de partida, el análisis de la elección del tipo de bastidor hasta las propuestas de diseño que se han analizado y propuesto para la motocicleta. Todos los diseños que se presentan en este apartado son bocetos que no han sido llevados a plenitud todo su desarrollo, sino que han sido desarrollados a modo de prueba para observar si estos cumplen previamente todos los requerimientos necesarios. El diseño final que se llevará finalmente a cabo queda expuesto en el punto cuatro de este proyecto.

#### 3.4.1 Datos de partida

Los datos de partida de diseño del bastidor derivan de los datos de partida generales que se destacan en el punto 3.1 “Datos de partida generales”. A parte de tener en cuenta estos se tendrán en cuenta otros como los siguientes que se aplican para la suspensión delantera.

Para suspensión delantera:

- Están prohibidos aquellos sistemas de suspensión activos o semi-activos y /o controles electrónicos de cualquier parámetro de la suspensión, incluyendo aquellos que controlen la regulación de altura.
- Los reglajes de suspensión sólo pueden ser realizados de manera manual y mediante ajustes mecánicos o hidráulicos.
- Se permiten sistemas de suspensión delantera de cualquier tipo: horquilla convencional, horquilla invertida, telelever, duolever, basculante delantero, etc. Se permiten tanto sistemas comerciales como de diseño propio o modificados.
- El conjunto de suspensión delantera podrá disponer de cualquier sistema de ajuste mecánico o hidráulico, como por ejemplo regulación de precarga del muelle, regulación de compresión, extensión o rebote.

### 3.4.2 Elección del tipo de bastidor

Como objetivos principales se tiene el conseguir un bastidor resistente pero que a su vez este sea ligero, proporcione estabilidad y buen paso por curva. Es por ello que para llevar a cabo del diseño se estudiarán las opciones de utilizar materiales ligeros y resistentes como el aluminio o la fibra de carbono.

Como requerimiento de la competición de MotoStudent es necesario llevar a cabo la idea de diseñar y fabricar un bastidor propio. Actualmente, la mayoría de las motos deportivas optan por dos tipos de bastidores claramente, estos son: bastidor de doble viga y el multitubular.

En este apartado se centrará en los diferentes aspectos susceptibles a comparar por tal de llegar a la conclusión de cuál de estos dos tipos de bastidores mencionados anteriormente solventa con creces los requerimientos impuestos inicialmente.

Ante esto, a partir de la siguiente tabla, se comparan distintas opciones para seleccionar la más viable. Se aplica un criterio de puntuación donde:

- Para una puntuación de 1 lo consideraremos como una prestación preferible.
- Para una puntuación de 2 lo consideraremos como una prestación media.
- Para una puntuación de 3 lo consideraremos como una prestación no preferible.

En función de la puntuación, la tabla queda de la siguiente manera:

	Tubular de Fibra de Carbono	Tubular de Aluminio	Doble Viga de Aluminio
Coste	3	2	1
Tiempo	3	2	1
Tiempo de Montaje	3	2	1
Prueba/error	3	2	1
Mecanizado	3	3	1
Mercado	3	1	1
Acceso interior moto	1	1	2
Peso	1	2	3
Versatilidad	3	2	1
Experiencia E1/E2	1	2	3
Diseño y Estética	2	3	1
Total	23	20	15

Tabla 1 Comparativa tipos de bastidores

Como se puede observar en la tabla anterior, el bastidor de doble viga de aluminio es la opción que destaca y se declara la mejor opción, ya que es la que presenta mas calificaciones de preferibles, con el representativo del número 1. Este resultado ya se podía adelantar, ya que en la actualidad casi todas las motos de alta competición utilizan este tipo de chasis.

Además, cabe destacar que se llega a la conclusión de la complicación de trabajar con fibra de carbono, debido a que en el proceso de curado de todas las uniones en este material producen desalineaciones indeseadas y otras complicaciones. Es por este motivo que se decide trabajar con aluminio. Se realiza un cómputo de pros y contras, y a pesar de que con el material elegido (aluminio) el peso total de la moto se verá aumentado, se valora más la facilidad del montaje, mecanización y alineación de todos los componentes debido a la versatilidad que ofrece este material.

Es por ello por lo que, escogido el tipo de chasis que se va a realizar y los objetivos que se han establecido se pasa a realizar una matriz de prioridades por tal de tener unas pautas para la hora de llevar a cabo el diseño del chasis.

	Ligereza	Rigidez	Diseño	Ergonomía	Coste	Metodo fabricación	Accesibilidad
Ligereza	1	1/7	6	1/2	1/3	1/4	3
Rigidez	7	1	9	7	3	6	4
Diseño	1/6	1/9	1	1/5	1/7	1/4	1/6
Ergonomía	2	1/7	5	1	1/8	1/5	2
Coste	3	1/3	7	8	1	1/2	5
Metodo fabricación	4	1/6	4	5	2	1	4
Accesibilidad	1/3	1/4	6	1/2	1/5	1/4	1

Tabla 2 Matriz de propiedades del bastidor

A partir de esta tabla se pueden observar todos los aspectos a los que se darán prioridad o más importancia a la hora de llevar a cabo el diseño del bastidor. De esta podemos destacar aspectos como que se dará prioridad a la rigidez antes que a la ligereza y el diseño o estética del bastidor será siempre secundario, pero a grados diferentes según con el punto con el que se compare, pero evidentemente se buscará un diseño estético y diferente.

### 3.4.3 Propuestas de diseño

Para la fase de diseño del bastidor se ha de recordar y tener en cuenta que el equipo de MotoSpirit basa sus fondos monetarios a base de distintas subvenciones y mediante la ayuda de los patrocinadores y colaboradores del equipo los cuales aportan ayuda monetaria, material o fabricación y asesoramiento.

Este factor influye de una manera muy directa a la hora de llevar a cabo el diseño ya que se han de pensar tipos de materiales y formas de fabricación que sean lo más asequible dentro de la industria, pero a la vez que estos proporcionen todas las características y requerimientos que se han establecido en la fase previa.

Es por estas razones por las que desde un primer momento se decidió realizar el bastidor de la motocicleta a partir del corte por láser debido a su bajo coste se refiere. En comparación con la creación de un molde para llevar a cabo la construcción de un bastidor único para el prototipo en cuestión es un aspecto que sube encarecidamente el precio de fabricación de este al igual que realizarlo mediante mecanizado.

#### 3.4.3.1 Primera Opción

A pesar de las razones anteriores de fabricación y construcción, a primera instancia se barajó la opción de un bastidor de doble biga con la pipa de formando parte del bastidor de toda una pieza. Era necesario probar con ese tipo de bastidor ya que era una muy buena posible opción para implementar en el prototipo.

Esta finalmente no se acabó de desarrollar en toda su plenitud ya que se desestimó su utilización debido a que no se encontraba ningún acuerdo de patrocinio por tal de llevar a cabo este diseño. Además, este tipo de bastidor iba muy ajustado a la caja de baterías, ya que esta se aloja entre las dos vigas del bastidor, y esto puede acabar causando interferencias durante la conducción de la motocicleta.



*Ilustración 37 Primera propuesta de bastidor*

#### 3.4.3.2 Segunda opción

La segunda opción que se contempló fue realizar un bastidor de doble viga, pero sin contar con la pipa de dirección como una sola pieza incluida dentro del bastidor. En este caso se encuentran dos planchas a ambos lados optimizadas por tal de reducir su peso. La principal desventaja de

este bastidor es que resulta complicada la sujeción de las baterías y no presenta toda la consistencia estructural que se debería obtener.



*Ilustración 38 Segunda propuesta de bastidor*

#### *3.4.3.3 Tercera opción*

La opción por la que se optó finalmente fue un chasis, que se podría catalogar como de doble viga, el cual no incorpora como tal la pipa de dirección, sino que esta se ensamblará posteriormente a las dos planchas laterales del bastidor, cerrando de esta manera el chasis de la motocicleta. Este primer diseño de este tipo de bastidor se presentó de la siguiente manera:



*Ilustración 39 Tercera propuesta de bastidor*

El bastidor está compuesto por tres piezas principales, las dos planchas laterales y la plancha que se posiciona en la zona baja de estas de tal manera que este hace la función de unión de estas, dándole esa consistencia estructural que se busca, y permitir que las baterías puedan reposar sobre dicha plancha por tal de repartir el peso de estas. Como se mencionaba el método de fabricación de este bastidor está pensado por tal que se pueda llevar a cabo mediante corte láser. A partir de este primer diseño de bastidor, de esta opción, se comenzó a buscar una línea de diseño y a partir de este optimizarlo por tal que su comportamiento y sus propiedades sean óptimas.

Todo el proceso de evolución y de cambio del bastidor se lleva a cabo en el punto “4.2. Proceso de diseño del bastidor” de este proyecto.

### 3.5 Diseño del basculante

En este apartado se analizarán desde los datos de partida, el análisis de la elección del tipo del basculante donde se expondrán todas las opciones tenidas en cuenta para su realización, una breve explicación sobre el sistema de bieletas que llevará instalada la suspensión trasera y las diferentes propuestas de diseño que se han analizado y propuesto para la motocicleta. Todos los diseños que se presentan en este apartado son bocetos que no han sido llevados a plenitud todo su desarrollo, sino que han sido desarrollados a modo de prueba para observar si estos cumplen previamente todos los requerimientos necesarios. El diseño final que se llevará finalmente a cabo queda expuesto en el punto cuatro de este proyecto.

#### 3.5.1 Datos de partida

Los datos de partida de diseño del basculante derivan de los datos de partida generales que se destacan en el punto 3.1 “Datos de partida generales”. A parte de tener en cuenta estos se tendrán en cuenta otros como los siguientes que se aplican para la suspensión trasera.

Para el sistema de suspensión trasera:

- Están prohibidos aquellos sistemas de suspensión activos o semi-activos y /o controles electrónicos de cualquier parámetro de la suspensión, incluyendo aquellos que controlen la regulación de altura.
- Los reglajes de suspensión sólo pueden ser realizados de manera manual y mediante ajustes mecánicos o hidráulicos.
- Se permiten sistemas de suspensión trasera de cualquier tipo. Se permiten tanto sistemas comerciales como de fabricación propia o modificados.

- El conjunto de suspensión trasera podrá disponer de sistemas de ajuste mecánicos o hidráulicos, tales como regulación de precarga del muelle, regulación de compresión, extensión o rebote.
- Se tiene un amortiguador Kayaba de longitud entre anclajes de 290,5mm de longitud.

### 3.5.2 Elección del tipo de basculante

Al igual que con el diseño del bastidor, MotoStudent también tiene el requerimiento de llevar a cabo un basculante de diseño y fabricación propia por el equipo. Para el diseño del basculante se buscará el realizar un basculante ligero y con la buena consistencia estructural por tal de aguantar las sollicitaciones de la motocicleta a la hora de aceleración, frenada y paso por curva.

Actualmente en el mundo de la competición, la mayoría de los basculantes que se pueden encontrar cuentan con un basculante de sección variable o uno tubular.

Este apartado se centrará en los diferentes aspectos dignos de análisis por tal de llegar a la conclusión de cuál de estos tipos de basculantes mencionados anteriormente cumple de manera destacable los requerimientos impuestos en un principio.

Ante esto, a partir de la siguiente tabla, se comparan distintas opciones para seleccionar la más viable. Se aplica un criterio de puntuación donde:

- Para una puntuación de 1 lo consideraremos como una prestación preferible.
- Para una puntuación de 2 lo consideraremos como una prestación media.
- Para una puntuación de 3 lo consideraremos como una prestación no preferible.

En función de la puntuación, la tabla queda de la siguiente manera:

	Tubular de Fibra de Carbono	Tubular de Aluminio	Doble Viga de Aluminio	Sección Variable Aluminio	Sección Variable de Fibra de Carbono
Coste	3	2	1	3	3
Tiempo	3	2	1	3	3
Tiempo de Montaje	3	2	1	1	3
Prueba/error	3	2	2	3	3
Mecanizado	3	2	1	3	3
Mercado	3	1	2	2	3
Acceso interior moto	1	1	1	2	2
Peso	1	2	3	3	1
Versatilidad	3	2	3	1	2
Experiencia E1/E2	1	2	3	2	3
Diseño y Estética	1	2	3	2	2
Total	22	18	20	25	28

Tabla 3 Comparativa de basculantes

Como se puede observar en la tabla anterior, el basculante tubular de aluminio es la opción más indicada según los requerimientos y el criterio que se ha utilizado para llevar a cabo esta selección del tipo de basculante que se empleará en el prototipo.

Al igual que se planteó para la elección del tipo de bastidor, trabajar con fibra de carbono presenta una complicación debido a que en el proceso de curado de las uniones en dicho material producen desalineaciones indeseadas y otras complicaciones. Por lo tanto, es por eso por lo que nuevamente se apuesta por la utilización de aluminio debido a su bajo coste, una variable que condiciona notablemente a la hora de diseñar el basculante. El realizar el basculante en aluminio aumentará el peso de la motocicleta comparado a que, si se realizase en fibra de carbono, pero en cambio se valora la mecanización y el proceso de fabricación y montaje de este, además de que dicho material ofrece una gran versatilidad.

Contando con los puntos anteriores que se valoran y se tienen en cuenta se va a realizar nuevamente una matriz de prioridades por tal de tener unas pautas a la hora de llevar a cabo el diseño del basculante.

	Ligereza	Rigidez	Diseño	Coste	Metodo fabricación	Accesibilidad
Ligereza	1	1/8	6	1/3	1/6	3
Rigidez	8	1	9	3	7	4
Diseño	1/6	1/9	1	1/7	1/4	1/6
Coste	3	1/3	7	1	1/2	5
Metodo fabricación	6	1/7	4	2	1	4
Accesibilidad	1/3	1/4	6	1/5	1/4	1

Tabla 4 Matriz de prioridades del basculante

A partir de esta tabla se pueden observar todos los aspectos a los que se darán prioridad o más importancia a la hora de llevar a cabo el diseño del basculante. Se pueden destacar aspectos como que se dará prioridad al método de fabricación respecto a la ligereza y el diseño de este siempre será secundario a diferentes grados según el aspecto al que se la compare.

### 3.5.3 Sistema de bieletas

El sistema a de bieletas es un sistema instalado en la suspensión trasera de la motocicleta que tiene como principal motivo lograr progresividad o variabilidad de la dureza percibida. Este sistema permite un sistema de suspensión en el que la fuerza a aplicar sobre la rueda trasera por tal de conseguir un determinado desplazamiento mucho más proporcional de la misma respecto a su desplazamiento.



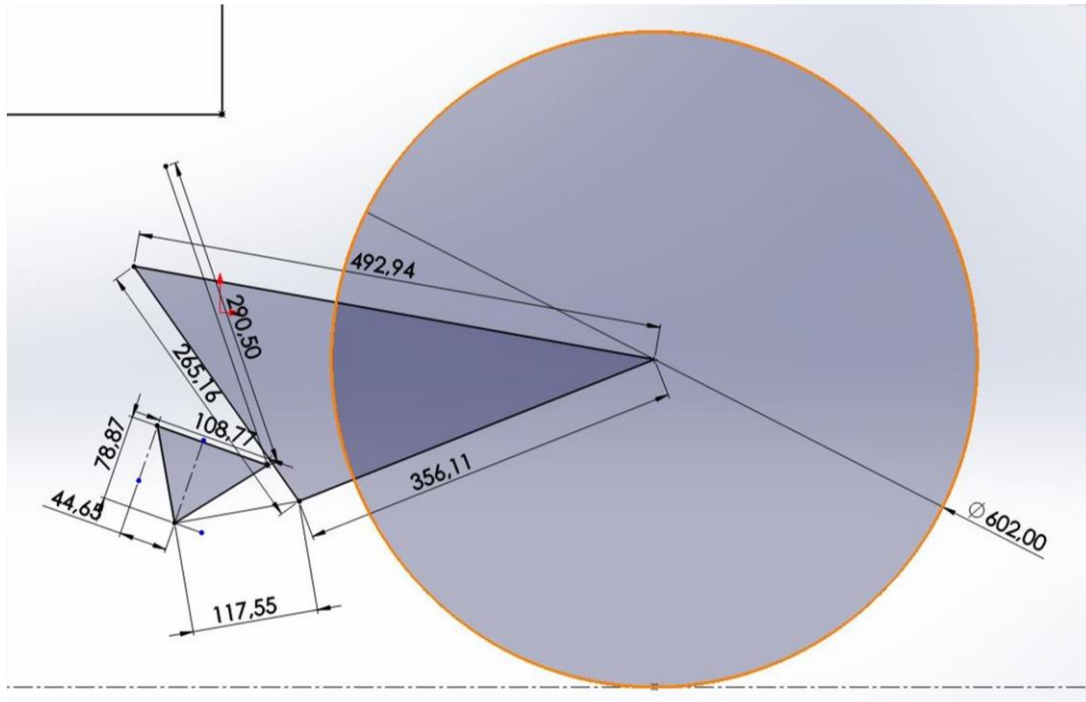
Este hecho da lugar a un tramo inicial de suspensión más blando y adecuado por tal de atenuar las pequeñas irregularidades de la pista, pero a su vez este se va endureciendo de forma más proporcional hacia el final de su recorrido, haciendo de esta manera que la absorción de los baches de mayor tamaño o impactos de fuerza mayor sea perfecta. Anteriormente, esto se conseguía gracias al uso de muelles en serie de diferente dureza o muelles de paso variable y hoy en día estas alternativas se continúan aplicando cuando no se desea implantar un sistema mecánico de esta complejidad por cuestiones de dificultad, espacio o económicas. Además, cabe destacar que la utilización de este sistema de bieletas permite u ofrece una mayor flexibilidad a la hora de determinar la posición que adoptará el sistema de suspensión trasero. Hay distintas maneras de posicionar dicho sistema dentro de la motocicleta, lo cual esto afectará al peso del sistema, la resistencia de este y su complicidad.

Mediante la variación de la geometría del sistema de bieletas se obtendrá una curva de progresividad diferente que esto cambiará el comportamiento de la motocicleta notablemente ya que actuará de forma diferente según en la situación bajo la cual este sometido el sistema de bieletas.

Para la realización de este prototipo se ha tenido en cuenta la implantación de dicho sistema a la suspensión trasera de la motocicleta gracias a las propiedades y características que puede aportar a la motocicleta, ya que puede mejorar notablemente el comportamiento de esta. Para llevar a cabo su diseño se han tenido en cuenta todos los datos de partida tanto generales como específicos del basculante por tal de llevar a cabo su diseño.

#### 3.5.4 Dimensionamiento

Teniendo en cuenta todos los datos de partida generales, los específicos del basculante y el dimensionamiento que ha de adoptar la motocicleta, se procede a realizar un dimensionamiento exclusivamente de toda la zona del basculante incluyendo el sistema de bieletas, especificando la geometría y medidas que este ha de adoptar.



*Ilustración 40 Dimensionamiento del basculante*

Una vez expuesta la geometría que adoptará el basculante y sobre la cual será la base del patrón de diseño se procede a introducir todos los valores necesarios conocidos en el programa de diseño mecanismos de suspensión trasera conocido como Foale. Como resultado de introducir todos los parámetros necesarios en dicho programa se obtiene una gráfica que muestra la progresividad que proporciona el sistema de bieletas al comportamiento del basculante de la motocicleta haciendo que el muelle trabaje progresivamente según la fuerza que reciba este.



Ilustración 41 Gráfica de resultados para la configuración de la suspensión trasera

### 3.5.5 Propuestas de diseño

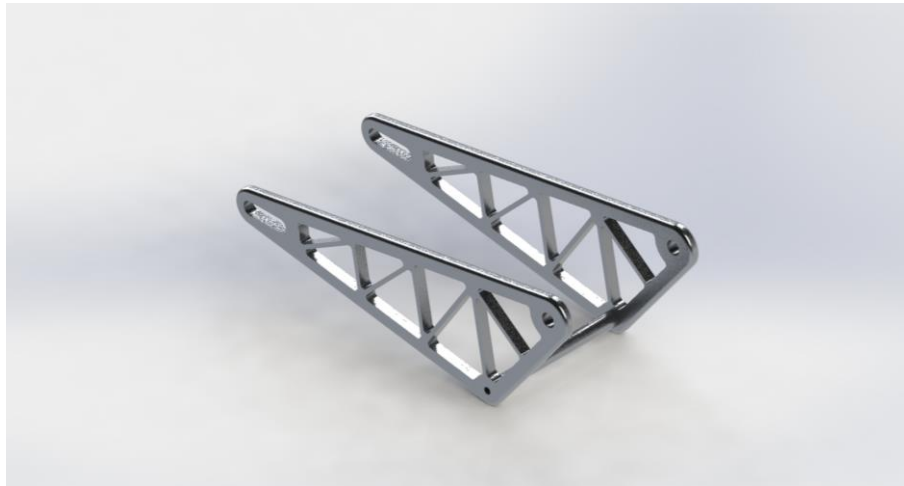
Para la fase de diseño del basculante, nuevamente se ha de recordar y tener en cuenta en los fondos monetarios del equipo de MotoSpirit ya que esto influye de manera muy directa a la hora de llevar a cabo el diseño.

Es por eso que, a la hora de realizar el diseño se llevará a cabo uno que en el cual se utilicen materiales y formas de fabricación de lo más asequibles dentro de la industria, pero que a la vez estos proporcionen todas las características y requerimientos que se han establecido en la fase previa.

A partir de los objetivos mencionados anteriormente, desde un primer momento se tuvo en cuenta el realizar un basculante a partir de corte por láser, reforzado entre las dos planchas por perfiles ya sean circulares o cuadrados, o bien la realización de un chasis tubular ya que mediante estos dos métodos el precio para su realización no es muy encarecido. A continuación, se presentan las diferentes opciones que se han barajado a la hora de escoger el diseño final del basculante para el prototipo.

### 3.5.5.1 Primera opción

Como primera opción se planteó seguir con la misma filosofía de diseño que el bastidor del prototipo, donde el basculante pudiera ser fabricado de la misma forma que el bastidor, es decir, mediante corte láser. El cual como se mencionó es el método de fabricación que se encontró como el más asequible, teniendo en cuenta el presupuesto del cual se dispone en el equipo. Es por eso que el primer diseño que se planteó fue el siguiente:

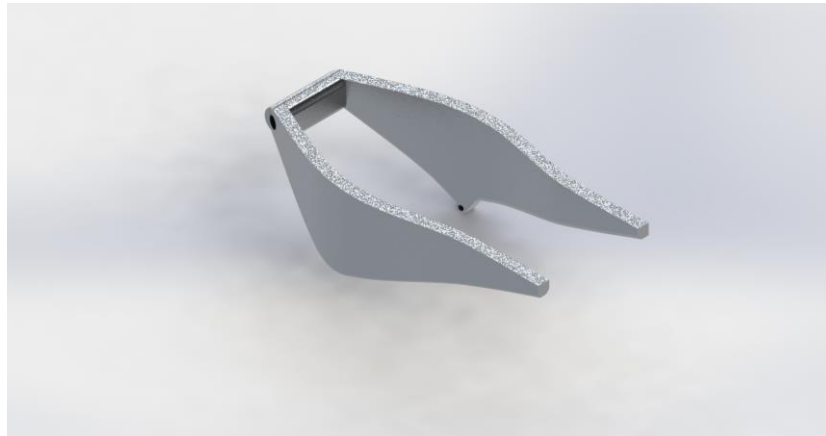


*Ilustración 42 Primer diseño del basculante*

Como se puede observar, el basculante consta de dos piezas cortadas por láser y optimizadas en peso por tal de aligerar material, pero sin perder consistencia estructural y rigidez en el basculante ante las sollicitaciones de la motocicleta. Ambas piezas son unidas por un tubo de sección circular por tal de conseguir dicha rigidez y propiedades que se tienen como objetivo y requerimiento.

### 3.5.5.2 Segunda opción

A pesar de tener en cuenta el buscar una forma de fabricación económica y asequible se había de presentar una propuesta de diseño más adaptada a la realidad por si se presentaba la oportunidad de obtener un patrocinador que ofreciera la oportunidad de realizar un basculante a partir de unos moldes únicos creados específicamente para dicho diseño.

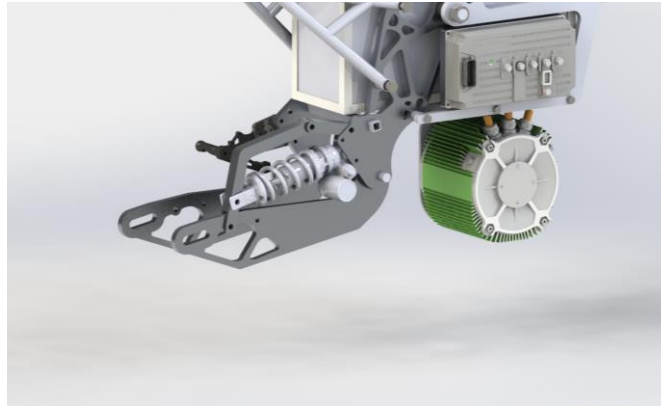


*Ilustración 43 Segunda propuesta para el basculante*

Este basculante está formado por una única pieza a partir de la creación de unos moldes que permitan su fabricación donde la suspensión trasera puede colocarse tanto desplazada a un lado como puede adoptar una disposición central con el sistema de bieletas.

### 3.5.5.3 Tercera opción

Esta opción que se presenta a continuación está basada en algunos modelos de motocicletas, pero con un sistema de bieletas diferente y poco usual donde sitúa la suspensión trasera en un lateral permitiendo de esta manera tener más espacio en la parte trasera de la motocicleta por si se desean situar algunos componentes en dicha parte del prototipo. El diseño queda de la siguiente manera:



*Ilustración 44 Tercera propuesta para el basculante*

El basculante está formado nuevamente por dos planchas de aluminio cortadas mediante corte por láser las cuales están unidas por tubos de sección circular para dar rigidez al diseño por tal de aguantar las solicitaciones requeridas de la motocicleta. A su vez se encuentra el sistema de bieletas en un lateral de la motocicleta formado por dos piezas donde dos puntos de estos son fijos por tal de permitir el movimiento óptimo de la suspensión trasera.

#### *3.5.5.4 Cuarta opción*

En esta cuarta opción de diseño de propuesta para el basculante de la motocicleta se presenta la línea de diseño finalmente escogida la cual durante las fases de diseño y de optimización posteriores este ha ido evolucionando y mejorando hasta conseguir y cumplir todos los requerimientos que se plantearon en un principio. Este diseño se presenta de la siguiente manera:



*Ilustración 45 Cuarta propuesta y definitiva para el basculante*

El basculante en cuestión está formado por dos planchas de aluminio cortadas por láser y toda una estructura de celosía triangulada de perfiles circulares soldados entre sí y las planchas de aluminio. Nuevamente, estas son unidas mediante un perfil circular y juntamente con la

estructura de perfiles circulares. El tipo de estructura con el que está formado otorga al basculante rigidez y consistencia estructural a la vez que muy resistente a la torsión gracias a los perfiles circulares que este contiene. Todo el proceso de desarrollo de dicho basculante se puede encontrar en el punto “4.3 Proceso de diseño del basculante” juntamente con todas las respectivas simulaciones realizadas y modificaciones que se realizan hasta llegar al diseño final.

### 3.6 Diseño del carenado

En este apartado se presentarán los datos de partido que se toman para llevar a cabo la realización del carenado de la motocicleta, específicos para este departamento, juntamente teniendo en cuenta siempre los datos de partida generales previamente expuestos en el proyecto para todo el prototipo. Seguidamente se presentarán algunas de las propuestas de diseño que se han realizado a lo largo del proceso de diseño de este juntamente con los objetivos que se han planteado a la hora de llevar a cabo la realización del diseño de estos.

#### 3.6.1 Datos de partida

Los datos de partida de diseño del carenado derivan de los datos de partida generales que se destacan en el punto 3.1 “Datos de partida generales”. A parte de tener en cuenta estos se tendrán en cuenta otros como los siguientes que se aplican específicamente para el carenado.

Para el carenado en su conjunto:

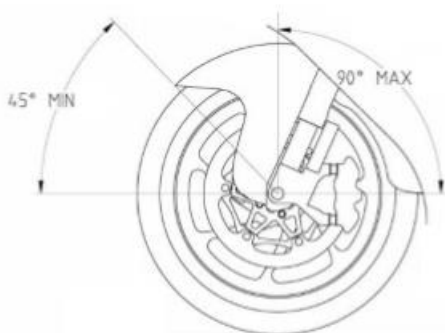
- Todos los bordes y acabados del carenado han de ser redondeados. Radio mínimo 1mm.
- El carenado no podrá cubrir lateralmente al piloto a excepción de los antebrazos (esta excepción solamente aplica en posición de mínima resistencia aerodinámica del piloto).
- No hay restricciones en cuanto al material de fabricación del carenado.
- Se permite la instalación de alerones, siempre que no se excedan las dimensiones máximas descritas en el presente Reglamento y estén correctamente anclados al carenado. En el caso de alerones el radio mínimo de sus terminaciones será de 2,5mm. No se permite la instalación de alerones u otros elementos aerodinámicos móviles. En caso de duda sobre la seguridad en pista por el diseño o instalación de alerones u otros elementos aerodinámicos, la decisión del Cuerpo Técnico de la Organización será inapelable.

Para el carenado inferior:

- El carenado inferior o quilla debe estar fabricado para contener, en caso de incidente, al menos 2,5 litros de material líquido.
- El carenado inferior o quilla deberá incluir un agujero de 25mm de diámetro, situado en el punto más bajo del mismo. Este agujero debe permanecer cerrado mediante un tapón en caso de pista seca y debe abrirse únicamente en caso de lluvia. Este tapón deberá ir sujeto con alambre para evitar su desprendimiento sobre la pista en caso de fallo de cierre.

Para los guardabarros:

- Es obligatoria la instalación de guardabarros delantero y trasero.
- El guardabarros delantero no podrá cubrir más de 135° de la circunferencia del neumático medido desde la parte posterior del neumático con origen del ángulo en la horizontal del eje de rueda. Las zonas de anclaje de guardabarros a la horquilla delantera, las cubiertas de horquilla o las de discos de freno podrán exceder dicha restricción.



*Ilustración 46 Restricciones para el guardabarros delantero*

- La llanta posterior no se podrá cubrir en más de 180°.

### 3.6.2 Principios básicos de aerodinámica en las motocicletas

La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos que estudia las fuerzas que aparecen sobre los cuerpos sólidos cuando existe un movimiento relativo entre estos y el fluido que los recorre, siendo este un gas y no un líquido. Si se tratase de un líquido se trataría de la hidromecánica. El aire forma una masa gaseosa que envuelve la superficie, de modo que la motocicleta se ve obligada a atravesarlo para desplazarse. Si las velocidades no son muy elevadas, la importancia de esta reacción del medioambiente no es muy elevada, en cambio cuando estas aumentan, la acción del aire se va haciendo más notable.



En el caso de este proyecto se trata de una motocicleta de competición que experimentará velocidades más o menos altas, pero de manera puntual, por lo que la aerodinámica juega un papel en el comportamiento de esta, pero no llega al nivel de alta competición como en Moto GP. Aún y así, el tamaño y la forma de la motocicleta, junto con cualquier complemento aerodinámico como un carenado o una cúpula, entre otras cosas, en las cuales se incluye al propio piloto pueden afectar a la resistencia aerodinámica y a su sustentación, por lo que su consumo de potencia se ve afectado.

Cuando una motocicleta avanza a altas velocidades en esta aparecen unas fuerzas de rozamiento que intentan impedir este movimiento. Estas fuerzas son generadas debido a la diferencia de presiones entre las partes delantera y trasera de la motocicleta. La diferencia de presiones crea en el área frontal de la moto una fuerza de resistencia aerodinámica, y por este motivo cuanto mayor sea el área frontal de la motocicleta mayor será la fuerza que aparezca en esta. Cuando el aire se encuentra con un objeto móvil, comienza a aumentar y a disminuir su velocidad conforme se va encontrando con las distintas formas, por lo tanto, la presión que sufre la motocicleta va variando en los diferentes lugares de la motocicleta. La parte delantera de los vehículos suelen tener una parte delantera que hace que la única posibilidad tiene el aire es la de seguir las formas del objeto hasta llegar a la zona donde esté la sección más ancha del vehículo donde en este punto la capa límite se hace más gruesa y cuando la forma del cuerpo se aleja mucho de lo que sería ideal.

Gracias al carenado también se puede llevar a cabo una refrigeración interna de todos los sistemas internos de la motocicleta por tal de que estos reciban un suministro de aire y ser refrigerados.

### 3.6.3 Propuestas de diseño

El carenado es otro de los componentes que puede marcar la diferencia entre los diferentes prototipos de la competición de MotoStudent. En esta presente edición de MotoSpirit ESEIAAT uno de los objetivos que se han tenido en mente como a llevar a cabo ha sido la realización de un carenado aerodinámico por tal de favorecer y acabar de hacer a este prototipo lo más eficiente e innovador posible.

En la parte del diseño del carenado solo se contemplará el diseño de la parte frontal, lateral y la zona del depósito y colín de la motocicleta.

Desde un inicio se han buscado diferentes objetivos para llevar a cabo la creación del carenado de la motocicleta, como se ha mencionado anteriormente, que esta cuente con un carenado aerodinámico frente a la acción del aire y favorezca a su conducción y pilotaje. Otro aspecto que

se ha tenido en cuenta es que sea fácil de desmontar y accesible, es decir, si surge o se presenta la necesidad en cualquier momento de manipular el interior de la motocicleta el carenado no suponga un obstáculo, sino que este en cuestión de segundos se pueda haber quitado. También se intentará llevar a cabo un carenado el cual sea modular a la vez que se comporta como una pieza en conjunto. Si es necesario, toda la zona que conforma el frontal, cúpula y laterales se comporte como una sola pieza para su vez estos sean independientes. El realizar el carenado de esta forma permitirá extraer una de las placas laterales y a su vez seguir teniendo en la motocicleta la otra parte lateral y frontal del carenado en la motocicleta. Uno de los objetivos principales que se han querido implementar para el carenado ha sido la realización de un carenado diferente y más elaborado en comparación a las anteriores ediciones de MotoSpirit el cual presente un diseño y una estética deportiva y agresividad, principales características distintivas de las motocicletas de competición de velocidad.

Cabe destacar que el equipo de MotoSpirit tiene como principal condición de restricción los fondos monetarios de los cuales dispone, hecho que determinará finalmente el material con el cual sea finalmente construido el carenado. A priori se apostará por la fabricación de un carenado de fibra de carbono, pero si finalmente no es posible se barajarán otras opciones como la fibra de carbono.

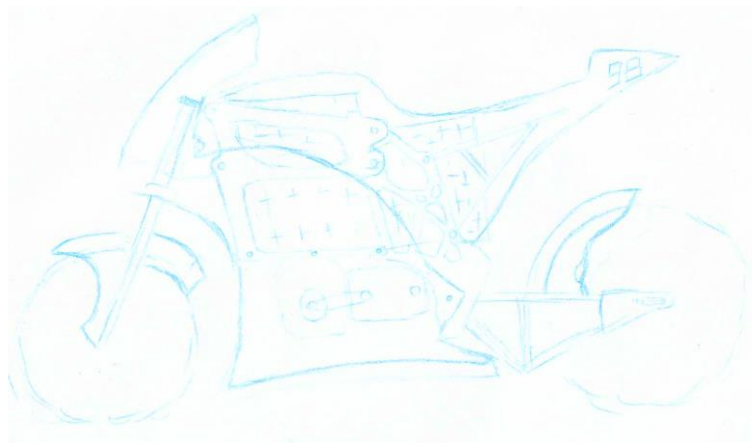
A partir de todos estos objetivos se quiso trasladar todos estos objetivos planteados a la realidad y llevarlos a análisis. Se produjo una primera fase de bocetos y croquis que se realizaron dentro del departamento de carenado del equipo siguiendo la línea establecida de ergonomía, agresividad y aerodinámica.



*Ilustración 47 Primer diseño del carenado*

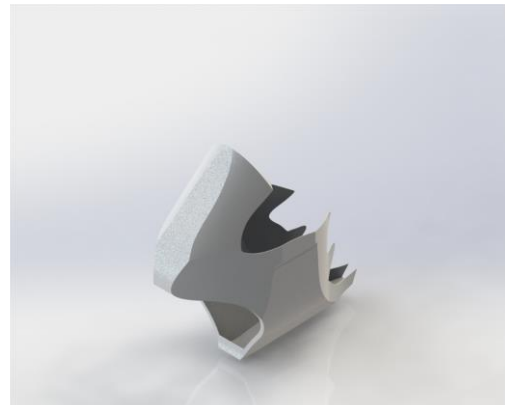
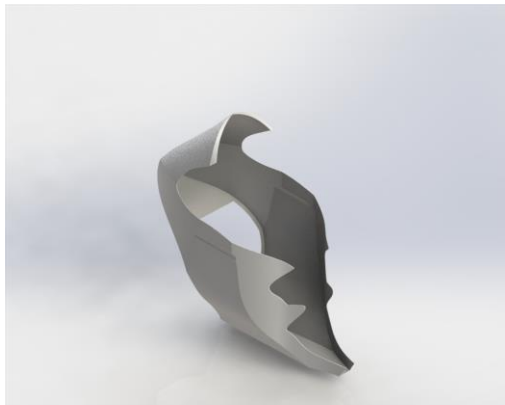
Como se puede observar en el boceto anterior se opta por una línea de diseño la cual presente una estética agresiva adoptando el aspecto de competición. En el cual se puede observar que la conocida “zona del depósito” que en este caso realiza la función de tapa de o cubierta de las baterías forma una única pieza juntamente con toda la zona posterior donde se encuentra el sillín para el piloto y colín de la motocicleta.

Seguidamente, tras la realización de otros croquis y bocetos desarrollando todo el conjunto de ideas y objetivos se llega a la fase de adaptación de esta línea de diseño al diseño del chasis que se tiene realizado donde se intentan plantar estos mismos diseños.



*Ilustración 48 Línea de diseño del carenado*

Nuevamente se puede observar el resultado del proceso de adaptación de las diferentes ideas y propuestas que se tenían al chasis que se ha desarrollado a lo largo del proyecto. Una vez finalizada esta fase de diseño se procede a la modelización del carenado a través del programa de SolidWorks 2019. A continuación, se presenta el primer modelado que se ha realizado del carenado a través del cual se irán buscando diferentes opciones hasta dar con la correcta y la que mejor se adapta y actúa sobre la motocicleta, pero siempre se mantendrá esta línea de diseño.



*Ilustración 49 Carenado, parte lateral y frontal*



*Ilustración 50 Carenado, parte de colín y "depósito"*

Este diseño presentado servirá como base y línea de diseño para las propuestas que se realicen posteriormente que se podrá ir observando la evolución y optimización de este en el punto “5.4. Proceso de diseño del carenado” más detalladamente.

## 4 Estudio, análisis y elección del material

En este apartado del proyecto se analizará el tipo de material que se empleará finalmente para el diseño de las diferentes piezas que se fabricarán y componen el bastidor, basculante y carenados de la motocicleta. Se compararán los diferentes materiales que permiten una buena producción, se estudiarán sus prestaciones y al final se seleccionará el que mejor se adapte a las necesidades que ha de cumplir la pieza diseñada.

Para escoger el material con el que se fabricarán todos los componentes se tendrán en cuenta las características del material como su rigidez, densidad, ductilidad, resistencia, vida a fatiga y costes tanto del material como del proceso de fabricación. El valor de estas características a tener en cuenta dependerá según el uso que se le vaya a dar la pieza y según el grado de exigencia que se requiera.

### 4.1 Estudio de materiales

Para la fabricación de las piezas que se han de producir en este proyecto tienen una gama amplia de materiales con los cuales estas pueden ser producidas, tales como el magnesio, el acero, el titanio, la fibra de carbono y el acero. Es por ello por lo que a continuación se describe una pequeña descripción del material y sus características para, posteriormente, llevar a cabo la elección del material.

#### 4.1.1 Magnesio

El magnesio es un metal liviano, medianamente fuerte, de un color blanco plateado. Al entrar en contacto con el aire se vuelve menos lustroso, que a diferencia de otros metales alcalinos no necesita ser almacenado en ambientes libres de oxígeno, ya que este queda protegido por una pequeña capa fina de óxido, la cual es bastante impermeable y difícil de sacar.

El magnesio es un metal altamente inflamable que puede entrar fácilmente en combustión cuando se encuentra en forma de virutas o polvo, mientras que cuando este se encuentra en forma de masa sólida es menos inflamable. Además, el magnesio cuenta con un coste elevado y presenta dificultades para ser soldado. Una de sus dificultades añadidas es su vida limitada, tanto por la falla por fatiga como a la corrosión.

#### 4.1.2 Acero

El acero es producto de una aleación de hierro y carbono. Es el material más común a la hora de llevar a cabo la fabricación de un chasis de una motocicleta por su bajo coste, la unión entre estas consta de técnicas avanzadas y se puede obtener la rigidez necesaria utilizando tubos de pequeño diámetro. Existen muchos tipos de acero en función del elemento o los elementos

aleantes que estén presentes y sus propiedades suelen variar según la composición del acero en cuestión. De forma general se puede decir que el acero tiene las siguientes características. Cabe destacar su elevada densidad de un valor de  $7850\text{kg/m}^3$ . El acero es un material muy tenaz, relativamente dúctil, como se da el caso cuando es usado para fabricar alambres. Es un metal maleable, donde se pueden obtener láminas de acero de espesores muy finos. Una de sus características destacables es que permite una buena mecanización y su dureza. A la hora de fabricación y construcción con el acero cabe destacar que este permite soldar con facilidad.

#### 4.1.3 Titanio

El titanio es un elemento metálico de baja densidad, gran dureza, resistente a la corrosión y con unas propiedades físicas parecidas a las del acero. En estado puro el titanio presenta una elevada resistencia a la corrosión y la mayor proporción de dureza-densidad de todos los elementos metálicos. Las aleaciones que se originan a partir del titanio se caracterizan por su ligereza, su tenacidad y su resistencia a la corrosión donde se emplean principalmente en el sector aeroespacial. El principal problema que surge del titanio es que su utilización supone un alto coste económico comparado con otros materiales de características similares y de su manipulación.

#### 4.1.4 Fibra de carbono

La fibra de carbono es una fibra sintética que se constituye por pequeños filamentos compuestos de carbono. Cada fibra de carbono es la unión de miles de filamentos de carbono y se trata de una fibra sintética que se fabrica a partir de un tipo de polímero o plástico. La fibra de carbono tiene propiedades mecánicas parecidas al acero y presenta una ligereza que se asemeja a la madera o al plástico. Cabe destacar que, debido a su dureza, por la estructura que la forma, tiene mayor resistencia al impacto que el acero.

El polímero que se utiliza normalmente para la fibra de carbono es el llamado resina epoxi, de tipo termoestable, aunque en ocasiones también se suele utilizar el poliéster como base para la fibra de carbono. La fibra de carbono es un material amorfo, es decir, las láminas de átomos de carbono que lo forman se colocan al azar, apretadas y juntas y es esta integración de las láminas de carbono la responsable de su alta resistencia. La densidad de la fibra de carbono adopta un valor de  $1750\text{kg/m}^3$  y es conductor eléctrico de baja conductividad térmica.

Las principales propiedades que la fibra de carbono proporciona son, como se han planteado anteriormente, su elevada resistencia mecánica, baja densidad en comparación con el acero, elevado precio de producción, resistencia a agentes externos, su gran capacidad de aislamiento térmico y la resistencia a las variaciones de temperatura. Las razones de elevado precio de los

materiales realizados con fibra de carbono se deben básicamente por dos factores. El primero es debido al refuerzo, que es un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción y durante el proceso de este se pueden realizar procesos para mejorar algunas de sus características una vez se ha obtenido la fibra. El segundo factor es que el uso de materiales termoestables dificulta el proceso de creación de la pieza final, ya que se requiere utillaje complejo especializado como es el autoclave.

#### 4.1.5 Aluminio

El aluminio es un metal ligero no ferromagnético que posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en el sector de la ingeniería como su baja densidad, la cual adopta un valor de  $2812,5\text{kg/m}^3$ , y su alta resistencia a la corrosión. Mediante las aleaciones adecuadas se puede aumentar su resistencia mecánica hasta valores de 690MPa.

El aluminio es un material blando pero resistente y maleable el cual en estado puro tiene un valor de entre  $160\text{-}200\text{N/mm}^2$  límite de resistencia a tracción. Para mejorar estas propiedades se alea con otros metales lo cual permite métodos de fabricación como el de fundición, forja y extrusión. Cabe destacar que el aluminio presenta un punto de fusión muy bajo con respecto al resto de materiales lo cual dificulta y hace más difícil la soldabilidad del aluminio.

El aluminio es el material que suele utilizarse para la fabricación de prototipos donde en las actuales competiciones de motos es el material más utilizado para la fabricación de los bastidores de doble viga de las motocicletas.

#### 4.2 Elección del material

Tras la definición y descripción de los materiales más comunes para la fabricación de chasis de motocicletas, contando con experiencias de ediciones anteriores del equipo de MotoSpirit y la comprobación de la normativa de la competición de MotoStudent se puede llegar a la conclusión que el material del cual será fabricada la motocicleta será de aluminio y de acero si es puntualmente necesario para desarrollar alguna pieza o componente.

La tradición en MotoSpirit hasta día de hoy era llevar a cabo la realización de un chasis en fibra de carbono como se hizo en las dos ediciones anteriores del equipo y en la presente edición al principio se mantuvo esta filosofía y se decidió realizar un chasis en fibra de carbono. A los meses del inicio del nuevo equipo de la presente edición los principales patrocinadores del equipo y suministradores de fibra de carbono y la manipulación de esta anunciaban que por circunstancias económicas propias de la empresa no podían continuar apoyando al equipo. Fue

entonces cuando se decidió contemplar la realización del chasis en otro tipo de material y valoradas las propiedades de estos y sus características se decidió usar aluminio.

Como el equipo principalmente se ve restringido por su economía y ante las diferentes opciones de materiales a utilizar el aluminio y el acero son lo más asequibles en relación prestaciones coste. Además, se ha escogido el aluminio porque proporciona una de las mayores ventajas en competición como es la ligereza, así es, realizar el bastidor en aluminio aligerará mucho el prototipo aportando todos los requerimientos necesarios.

Una vez analizados los tipos de materiales y seleccionado el tipo de material que se va a utilizar, en este caso aluminio, se procede a decidir el tipo de aluminio que se empleará. Para ellos se analizarán y se estudiarán los diferentes tipos de aleaciones de aluminio que se pueden encontrar en el mercado.

En las aleaciones de aluminio se encuentran siete series diferentes de aleaciones, cada una de estas series contiene sus propias propiedades características y cada una de estas forma aleación con el aluminio con materiales diferentes.

El primer tipo de aleación que se encuentra es la series 1000, donde en esta el aluminio se encuentra en al menos un 99% de pureza por lo que sus propiedades erradican en las propiedades propias del aluminio, no se ven mejoradas sus propiedades. Aún y así esta serie tiene una alta resistencia a la corrosión con una excelente maleabilidad, buen acabado y una alta conductividad eléctrica y térmica. Seguidamente se encuentra la serie 2000, en esta el aluminio se encuentra aleado con cobre, principalmente. Con un tratamiento T6 pueden adquirir una resistencia a tracción de 442MPa lo cual hace apta esta serie para su uso en estructuras de aviones. Destaca por su alta resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y su buena maquinabilidad. La serie 3000, es el tipo de aleación compuesta por Manganeso, el cual refuerza al aluminio y le da una resistencia a tracción de 110MPa y al igual que los de la serie 2000 tiene una buena resistencia mecánica y alta resistencia a la corrosión, añadiendo la buena maleabilidad que dispone. Estas aleaciones son generalmente no tratables térmicamente. En cuarto lugar, encontramos la serie 4000, aleación de aluminio con Silicio, se utilizan en alambres de soldadura. La mayoría de las aleaciones de esta serie son tratables térmicamente pero cuando se utilizan en soldadura de aleaciones tratables térmicamente, absorben algunos de los constituyentes de la aleación de esta última y así responden a un tratamiento térmico en una medida limitada. La serie 5000, consta de aluminio aleado con magnesio. Cuando se utiliza como elemento de aleación o con manganeso resulta una aleación endurecible ya que este pierde su ductilidad y maleabilidad, lo cual hace que esta aleación adopte una alta resistencia. En sexto



lugar, encontramos la serie 6000 la que está formada por silicio y magnesio lo cual da lugar a un compuesto llamado siliciuro de magnesio el cual provoca que esta serie de aleación sea tratable térmicamente. Aunque este tipo de aleación no es tan resistente como lo son la mayoría de las aleaciones de aluminio las de esta serie tienen buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión. Con un tratamiento de T6, es decir, un tratamiento térmico de precipitación puede alcanzar una resistencia de 290MPa. Por último, en séptimo lugar, encontramos la serie 7000 la que contiene como componente zinc. Cuando se combina con un porcentaje bajo de magnesio resulta una aleación tratable térmicamente de muy alta resistencia. También es posible una adición de otros elementos como escandio lo que ayuda y mejora las propiedades mecánicas de este. Este tipo de aleación se utiliza para equipos móviles, estructuras de fuselajes y para piezas sujetas a altas tensiones de trabajo. Este tipo de aleación a pesar de su gran ventaja de soportar grandes tensiones presenta una desventaja la cual es su soldabilidad, la cual se ve muy reducida.

Una vez analizadas las diferentes series de aleaciones de aluminio que se pueden encontrar y las propiedades que estas presentan se decide utilizar aluminio 7075-T6 para todas las piezas que no requieran el ser soldadas, en cambio, para las que haga falta soldadura se utilizará aluminio 6063-T6 gracias a que presenta buena soldabilidad y buenas propiedades mecánicas.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	7.2e+10	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.69e+10	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	2810	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	570000000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	505000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	2.36e-05	/K
Conductividad térmica	130	W/(m·K)

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.9e+10	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.58e+10	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	2700	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	240000000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	215000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	2.34e-05	/K
Conductividad térmica	209	W/(m·K)

Ilustración 51 Propiedades del aluminio 7075-T6 y 6063-T6

Finalmente, para llevar a cabo el carenado se utilizará fibra de carbono, si es posible, ya que las propiedades que presenta como su ligereza, un aspecto vital para el carenado. En caso de que la fabricación de este finalmente no pueda ser realizada con fibra de carbono se barajarán otras opciones de fibras como es el caso de la fibra de vidrio.

## 5 Cálculos, modelización y simulaciones

En este apartado del proyecto se plantearán los cálculos generales de la motocicleta donde se analizarán los casos límites como son el de aceleración máxima, frenada máxima y paso por curva. Seguidamente se planteará el proceso de diseño del bastidor, del basculante y carenados de la motocicleta.

### 5.1 Cálculos generales de la motocicleta

En este apartado se realizará un estudio de las fuerzas que actúan sobre la motocicleta cuando esta se encuentra en situaciones de máximo esfuerzo. Este paso es de vital importancia para el análisis de la motocicleta ya que será esencial tener bien desarrolladas las fuerzas resultantes para que posteriormente estas se puedan introducir en el programa de simulación y realizará el estudio por elementos finitos de manera que este sea lo más exacto posible.

Con la geometría que se ha escogido previamente, en el punto “3.3.Dimensionamiento”, para el prototipo a diseñar se asumirán una serie de condiciones con las que se calcularán las cargas límite que actuarán. Estas fuerzas son las que actúan en el punto de contacto de los neumáticos con el suelo donde estas se transmiten al vehículo posteriormente. El objetivo de realizar y obtener los valores de dichas cargas es para comprobar si el diseño que se ha realizado para el chasis, basculante y posicionamiento de la suspensión trasera soportan con creces estas sollicitaciones.

Conocidas las cargas que se aplicarán al diseño se podrá redimensionar cada componente si se observa que el diseño en cuestión soporta las sollicitaciones por tal de aligerar peso de los diferentes componentes de la motocicleta. A su vez, siempre se ha de analizar que todo aguante los esfuerzos que puedan actuar sobre él sin que sufra ningún tipo de fisura o rotura.

A continuación, se expondrán los cálculos que se han realizado para la motocicleta donde se tendrán en cuenta el caso de aceleración máxima, frenada máxima con freno delantero, frenada máxima con el freno trasero, paso por curva y pruebas estáticas de la competición.

#### 5.1.1 Aceleración máxima

En este caso se analizan las cargas que actúan sobre la motocicleta en la aceleración máxima del prototipo. Los elementos que soportan esfuerzos críticos son la pipa de dirección y las horquillas de la suspensión delantera.

Las fuerzas y sus respectivos valores, que actúan en este caso son los siguientes:

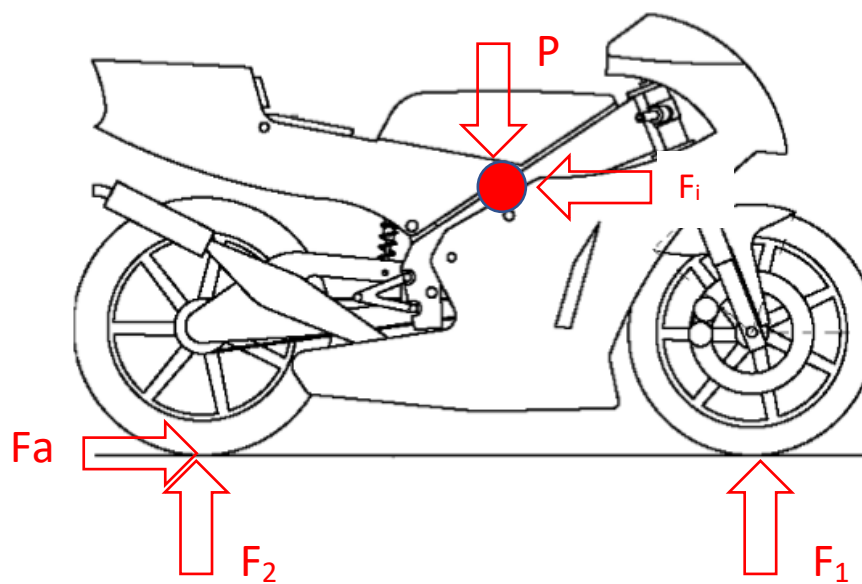


Ilustración 52 Disposición de fuerzas para el caso de aceleración máxima

- $F_p$  causada por el peso del piloto más la masa de la moto, en nuestro caso 70 y 150kg respectivamente.

$$F_p = (150kg + 70kg) \cdot \frac{9,81m}{s^2} = 2158,2N$$

- $F_1$  y  $F_2$  son las fuerzas verticales como surgen como consecuencia del peso las cuales tienen un sentido ascendente, ya que son generadas como reacción a la fuerza del peso de la motocicleta la cual tiene un sentido descendente. Estas quedan situadas en el punto de contacto entre el neumático y el asfalto. En la situación de aceleración máxima se puede suponer que el contacto de la rueda delantera con el suelo es cero ya que ante esta situación la moto tiende a levantarse debido al squat. No obstante, se considerará a su misma vez que en dicha situación también se encuentra en el momento de agarre máximo del neumático por lo que realmente esta no se levantaría. Planteada esta situación se obtiene que  $F_1 = 0$ . Por lo tanto, solo se tendría en cuenta la reacción  $F_2$ , que será igual a la calculada anteriormente. El valor de la fuerza  $F_2$  adopta el siguiente valor:

$$F_2 = F_p = 2158,2N$$

- **F<sub>a</sub>** es la fuerza que es provocada por la aceleración la cual se encuentra en el punto de contacto entre el neumático trasero y el asfalto teniendo la misma dirección de la aceleración. Fuerza de aceleración **F<sub>a</sub>** será igual a la **F<sub>2</sub>** pero multiplicado por el coeficiente de rodadura con un valor de 1,2, adoptando el siguiente valor:

$$F_a = F_2 \cdot \mu = 2158,2N \cdot 1,2 = 2589,84N$$

- **F<sub>i</sub>** es la fuerza que se opone a la aceleración debido a la inercia de la masa. Por lo tanto se puede decir que **F<sub>i</sub>=F<sub>a</sub>**.

### 5.1.2 Frenada máxima

En este apartado se analizarán los cálculos límite producidos por la frenada máxima que puede ejercer la motocicleta. Esta situación puede darse ante dos situaciones diferentes, frenada máxima con el freno delantero o frenada máxima con el freno trasero donde se producen fenómenos diferentes y la motocicleta experimenta comportamientos diferentes.

#### 5.1.2.1 Frenada máxima freno delantero

En este caso se va a analizar la frenada máxima con la rueda delantera, se considerará solamente el frenado con el freno delantero. Esta situación someterá al chasis a una máxima flexión, ya que el uso del freno trasero junto con el delantero haría disminuir el momento que provoca la horquilla en la pipa del chasis.

Las fuerzas y sus respectivos valores, que actúan en este caso son los siguientes:

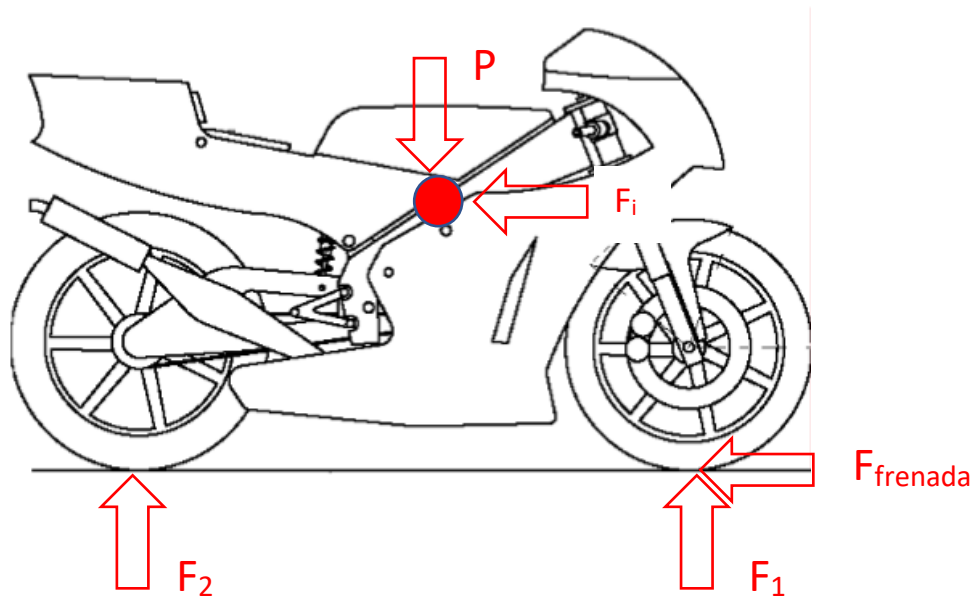


Ilustración 53 Situación de fuerzas para el caso de frenada con freno delantero

- $F_p$  causada por el peso del piloto más la masa de la moto, en nuestro caso 70 y 150kg respectivamente.

$$F_p = (150kg + 70kg) \cdot \frac{9,81m}{s^2} = 2158,2N$$

- $F_1$  y  $F_2$  son las fuerzas verticales como surgen nuevamente como consecuencia del peso las cuales tienen un sentido ascendente, ya que son generadas como reacción a la fuerza del peso de la motocicleta la cual tiene un sentido descendente. Estas quedan situadas en el punto de contacto entre el neumático y el asfalto. En la situación de frenada máxima con el freno delantero se puede suponer que el contacto de la rueda trasera con el asfalto es cero ya que ante esta situación la moto tiende a levantarse a desplazar toda su fuerza y peso a la parte delantera de la motocicleta. No obstante, se considerará a su misma vez que en dicha situación también se encuentra en el momento de agarre máximo del neumático por lo que realmente esta no se levantaría. Planteada esta situación se obtiene que  $F_2 = 0$ . Por lo tanto, solo se tendría en cuenta la reacción  $F_1$ , que será igual a la calculada anteriormente. El valor de la fuerza  $F_1$  adopta el siguiente valor:

$$F_1 = F_p = 2158,2N$$

- **F<sub>frenada</sub>** es la fuerza que es provocada por la frenada máxima del freno delantero la cual se encuentra en el punto de contacto entre el neumático delantero y el asfalto teniendo la misma dirección de la desaceleración. Fuerza de frenada **F<sub>frenada</sub>** será igual a la **F<sub>1</sub>** pero multiplicado por el coeficiente de rodadura con un valor de 1,2, adoptando el siguiente valor:

$$F_a = F_1 \cdot \mu = 2158,2N \cdot 1,2 = 2589,84N$$

- **F<sub>i</sub>** es la fuerza que se opone a la aceleración debido a la inercia de la masa. Por lo tanto se puede decir que **F<sub>i</sub> = F<sub>frenada</sub>**.

#### 5.1.2.2 Frenada máxima freno trasero

Para realizar una frenada fuerte con el freno delantero se debe de accionar antes el freno trasero, puesto que es necesario cargar el tren delantero antes de accionar el freno trasero para no bloquear la rueda delantera.

Las fuerzas y sus respectivos valores, que actúan en este caso son los siguientes:

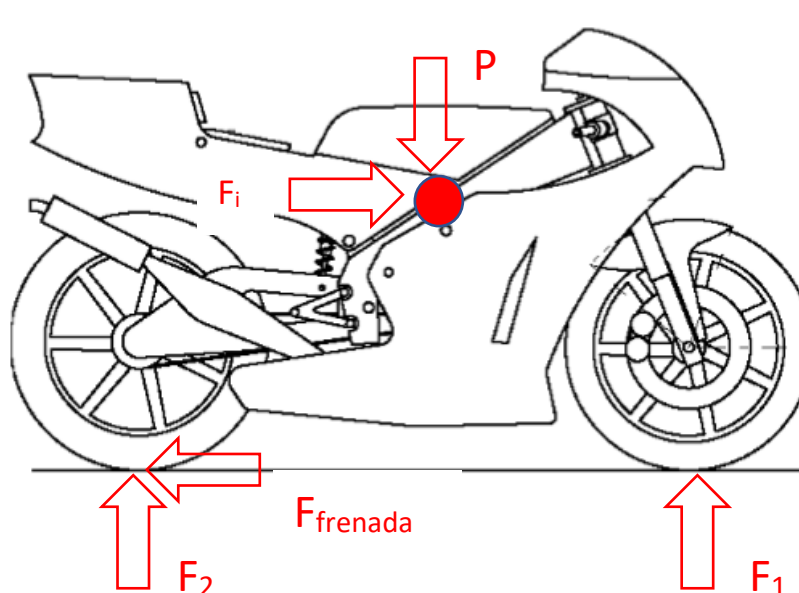


Ilustración 54 Situación de fuerzas para el caso de frenada máxima con freno trasero

- $F_p$  causada por el peso del piloto más la masa de la moto, en nuestro caso 70 y 150kg respectivamente.

$$F_p = (150kg + 70kg) \cdot \frac{9,81m}{s^2} = 2158,2N$$

- **F1 y F2** son las fuerzas verticales que surgen como consecuencia del peso las cuales tienen un sentido ascendente, ya que son generadas como reacción a la fuerza del peso de la motocicleta la cual tiene un sentido descendente. En este caso esta fuerza será considerada teniendo en cuenta, aunque que se produce una transferencia de carga desde el tren trasero hasta el delantero, se van a realizar los cálculos suponiendo que el peso se reparte 50% entre los neumáticos, puesto que en el instante inicial de frenada máxima el tren trasero está cargado con la mitad del peso. Por lo tanto, tenemos una fuerza de  $F_1$  que equivale a la mitad del peso, por lo tanto, se obtiene que:

$$F_1 = F_2 = ((150kg + 70kg) \cdot \frac{9,81m}{s^2})/2 = 1079,1N$$

- **F<sub>frenada</sub>** es la fuerza que es provocada por la frenada máxima del freno trasero la cual se encuentra en el punto de contacto entre el neumático trasero y el asfalto teniendo la misma dirección de la desaceleración. Fuerza de frenada **F<sub>frenada</sub>** será igual a la **F1 y F2** pero multiplicandolo por el coeficiente de rodadura de 1'2, adoptando el siguiente valor:

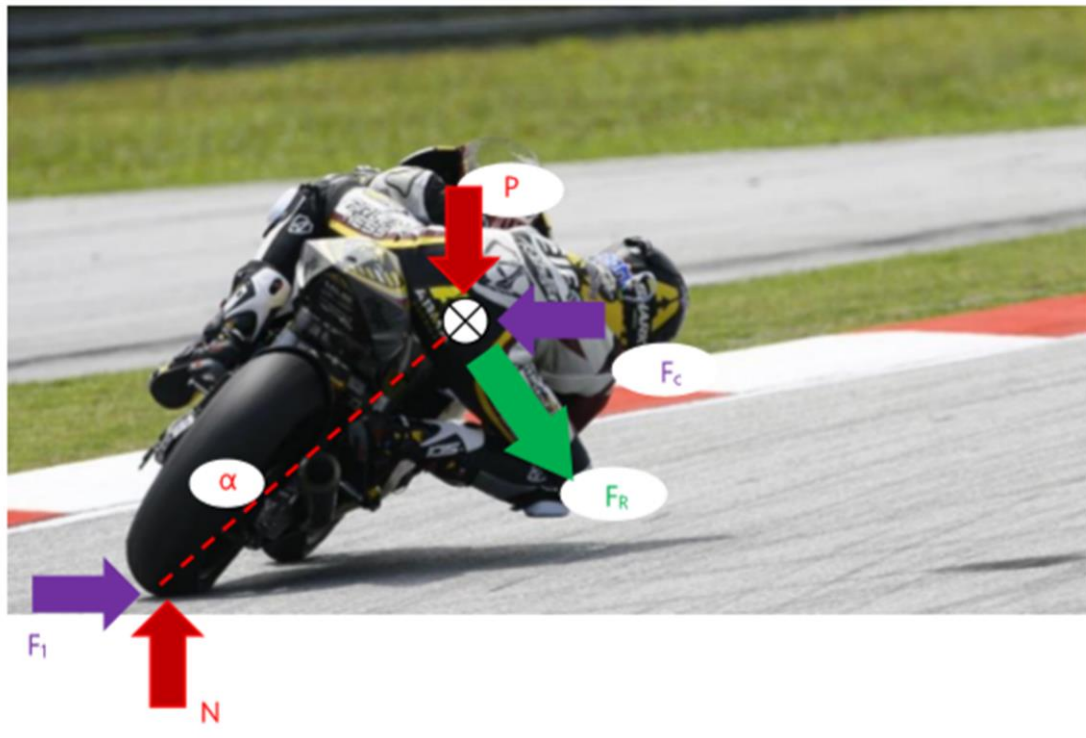
$$F_{frenada} = F_1 \cdot \mu = 1079.1 \cdot 1,2 = 1294,92N$$

- **Fi** es la fuerza que se opone a la aceleración debido a la inercia de la masa. Por lo tanto se puede decir que **Fi = F<sub>frenada</sub>**.

### 5.1.3 Paso por curva

Para llevar a cabo el cálculo de fuerzas durante el paso por curva de la motocicleta se efectuará con una inclinación que se propondrá como dato de partida, además, durante este proceso no se tendrán en cuenta fuerzas de aceleración ni de frenada ya que todo el agarre del neumático

se destinará a vencer la fuerza centrífuga ocasionada por el paso por curva. Cabe destacar que el punto de aplicación de la fuerza entre los neumáticos y el asfalto se verá desplazado hacia la derecha, como se puede observar en la siguiente foto, respecto al plano de simetría vertical de la moto debido a la inclinación de esta. La postura de descuelgue del piloto compensa el efecto desplazando el centro de gravedad del conjunto hacia la izquierda respecto al plano mencionado anteriormente, lo cual provoca un esfuerzo torsional añadido.



*Ilustración 55 Situación de fuerzas para el caso de paso por curva*

Por lo tanto, para realizar el cálculo se exponen los siguientes datos de partida:

1. Se considerará un paso por curva donde el piloto deja correr la moto, es decir sin acelerar o frenar (este suceso suele ocurrir al final de la entrada en curva).
2. Se realizará el cálculo pasando la moto por la última curva del trazado nacional del circuito Alcañiz (radio aproximado 172m) a una velocidad de 100km/h.
3. El neumático es plano.
4. El ángulo aplicado será de  $\alpha=45^\circ$ .
5. Peso de la moto: 150Kg.
6. Peso del piloto (ha de poder llevar la moto un porcentaje del 95% de la población): 70Kg



Considerando que la curva número 16 del plano del circuito de Motorland es la curva más pronunciada y a la vez más veloz de todas, se centrará en sus características para realizar los cálculos de paso por curva puesto que será la situación más desfavorable de paso por curva que se realizará durante el evento de la competición.

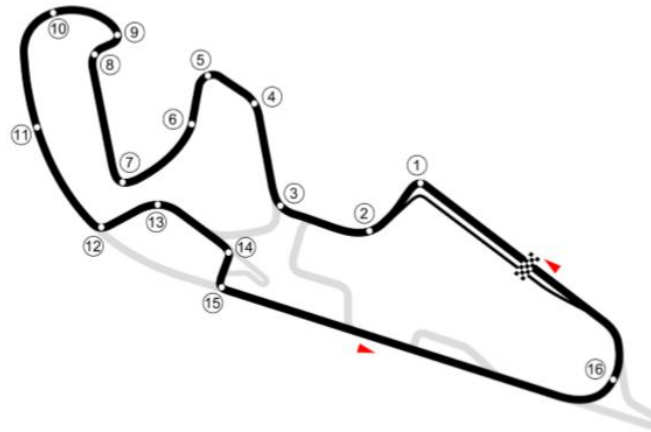


Ilustración 56 Trzada del circuito con numeración de las curvas

Por tal de calcular las fuerzas para el paso por curva se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot \left(\frac{v}{r}\right)^2 \cdot r = 220 \cdot \left(\frac{100}{3.6 \cdot 172}\right)^2 \cdot 172 = 986,94N$$

Sabiendo que la fuerza del peso es de 2158,2N se calcula el resto de las fuerzas que faltan:

$$F_r = P \cdot \cos \alpha - F_c \cdot \cos \alpha = (P - F_c) \cdot \cos \alpha = (2158,2 - 986,94) \cos 45^\circ = 828,21N$$

Se le aplica un factor de seguridad de 2, por lo que se tendrá una fuerza  $F_r=1656,42N$ .

#### 5.1.4 Fuerzas en banco de ensayo

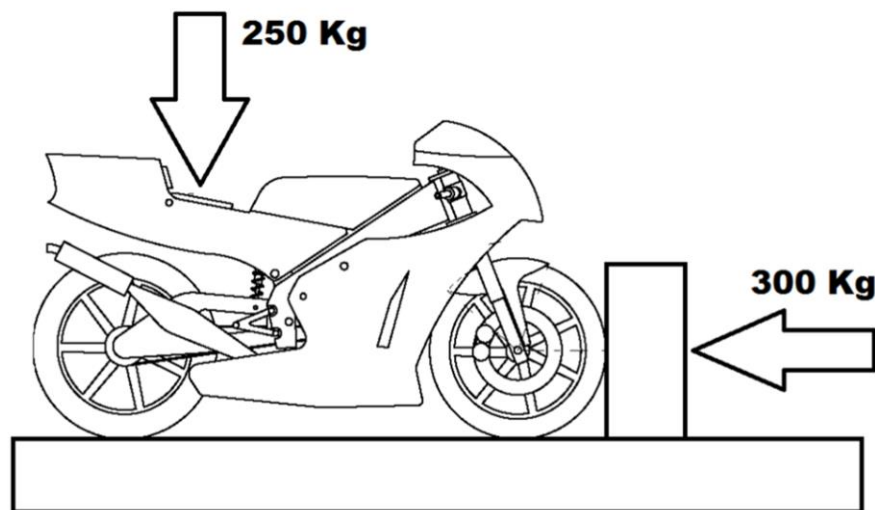
Si la Organización lo estimara necesario, podrá someter al prototipo a una serie de fuerzas horizontales y verticales en un banco de ensayos para comprobar rigidez del chasis, correcto ensamblaje, geometrías y trabajo de suspensiones.

Se aplicarán sobre el prototipo las siguientes fuerzas:

- Carga horizontal progresiva en rueda delantera: 300kg
- Carga vertical progresiva sobre el asiento: 250kg

Estas cargas se aplicarán de forma alternativa y progresiva, verificando que en situación de compresión no se producen interferencias entre elementos, así como que todos los sistemas que integran la parte ciclo del prototipo trabajan adecuadamente.

Al retirar el esfuerzo se podrá verificar que la geometría original no ha sufrido deformaciones, así como que no haya aparecido ninguna fisura en los componentes estructurales o elementos de unión. Para que el prototipo se considere apto en esta prueba deberá cumplir las disposiciones descritas. Estas fuerzas se aplicarán siguiendo el siguiente esquema de cargas:



*Ilustración 57 Descripción de las pruebas estáticas*

Es por eso por lo que se llevará a cabo este análisis del caso planteado anteriormente y se tendrán en cuenta estas fuerzas en la fase de diseño de las diferentes partes de la moto.

Se tendrá en cuenta que para el cálculo de la prueba se realizará mediante la actuación de estos pesos por el efecto de la gravedad donde esta adopta un valor de  $9,81\text{m/s}^2$  y la motocicleta tiene

aproximadamente un peso de 150kg, ya que esta prueba se realizará sin piloto. Por lo que quedará un esquema de fuerzas de la siguiente manera:

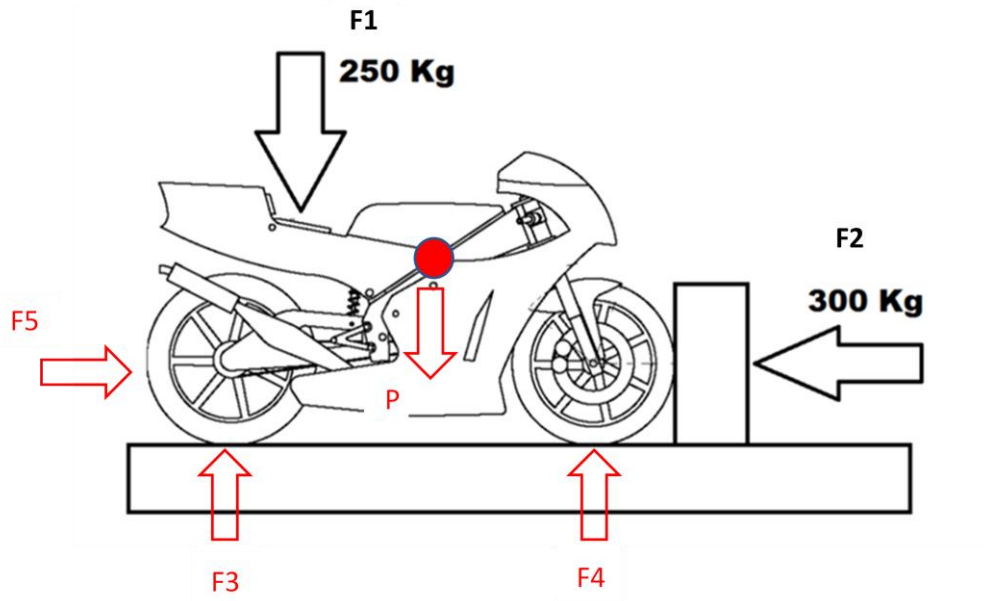


Ilustración 58 Situación de fuerzas para el caso de las pruebas estáticas de la motocicleta

El valor de las fuerzas será el siguiente:

$$P = 150kg \cdot \frac{9,81m}{s^2} = 1471,5N$$

$$F1 = 250kg \cdot \frac{9,81m}{s^2} = 2452,5N$$

$$F2 = 300kg \cdot \frac{9,81m}{s^2} = 2943N$$

A partir de estos datos y conociendo que la fuerza F3 será igual a la fuerza F4. En el eje de las “Y” se tiene la fuerza F1, la del peso y las dos reacciones que aguantarán las ruedas.

$$F3 = F4 = \frac{F1 + P}{2} = \frac{2452,5 + 1471,5}{2} = 1962N$$

La fuerza de F5 sería para contrarrestar la fuerza F2 de 300kg, por lo tanto, F5 tendrá un valor de 2943N.

## 5.2 Proceso de diseño del bastidor

Durante el proceso de diseño del bastidor se han ido analizando todos los diseños a medida que estos iban surgiendo, siempre han sido analizados por tal de ver si estos cumplían con todos los requerimientos y objetivos que se plantean a la vez que observando que estos sean fabricables y realmente puedan ser llevados a cabo en la realidad.

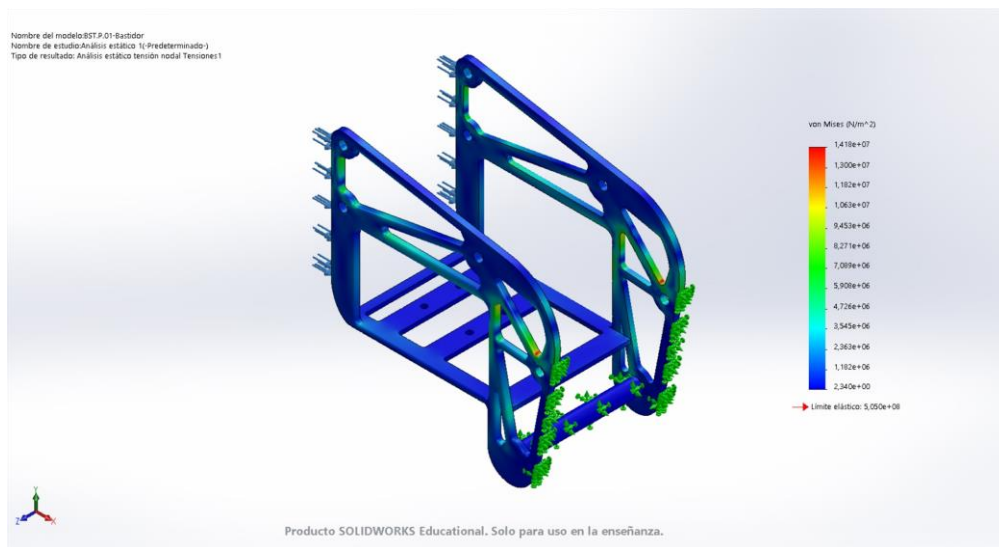
Algo que ha determinado de forma notable el diseño del bastidor ha sido su método de fabricación ya que se ha buscado que este sea económico a la hora de su fabricación ya que es una de las variables más críticas que determinan al equipo a la hora de llevar a cabo el diseño. Es por ello por lo que siempre se ha apostado el corte por láser, ya que es de los métodos más económicos comparados con el resto de los métodos de fabricación.

En un primer momento se presentó la propuesta de chasis que se puede observar en la ilustración 59, donde este está formado por dos planchas laterales de aluminio de 15mm de grosor y una tercera que permite que las baterías reposen sobre esta por tal de distribuir la carga del peso de todo el conjunto de baterías, aportando rigidez estructural al chasis. En ninguno de los casos propuestos en esta línea de diseño se cuenta con la pipa de dirección como parte del bastidor formando una pieza como tal con el bastidor, sino que siempre se dará por supuesto que la pipa está mecanizada de forma aislada para su posterior ensamblaje con el bastidor.



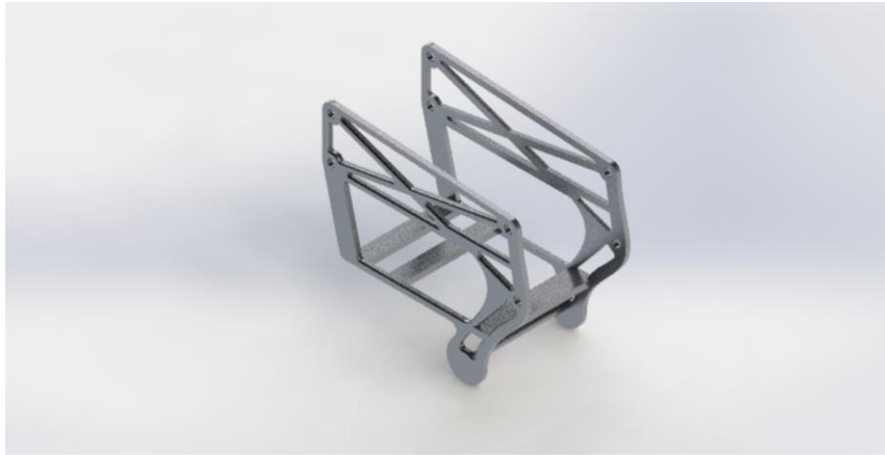
*Ilustración 59 Diseño de la propuesta final del chasis*

Con este diseño se pasó a realizar a ver como se comportaba este chasis ante las solicitaciones de la motocicleta a partir de las fuerzas calculadas en el punto “4.1.Cálculos generales de la motocicleta”, mediante el uso de elementos finitos del programa de SolidWorks 2019. En este se redondea el valor de la fuerza en “x” a 3.000N y suponiendo como puntos fijos el eje del basculante y la parte trasera del chasis. Aplicado esto, se observan los siguientes resultados:



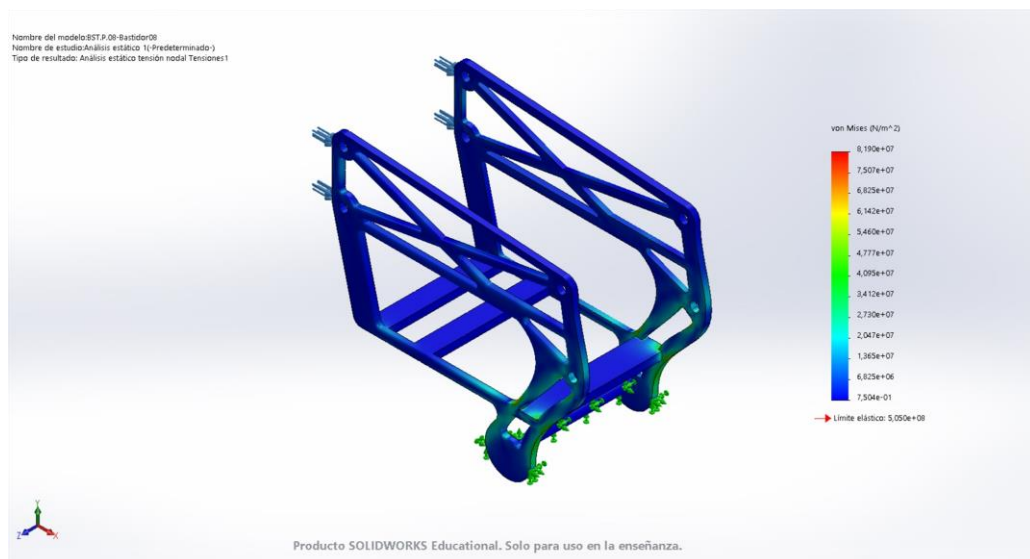
*Ilustración 60 Resultados de la primera simulación del bastidor*

En esta imagen se pueden observar las tensiones que sufre el bastidor mediante el método de von Mises junto con los valores de máxima y mínima tensión a la vez que el límite elástico del material, en este caso aluminio. A pesar de observar que todos los resultados son correctos se decide seguir avanzando con el diseño y buscar una nueva estética. Es entonces cuando se presenta el siguiente tipo de bastidor:



*Ilustración 61 Diseño del bastidor ante la primera modificación*

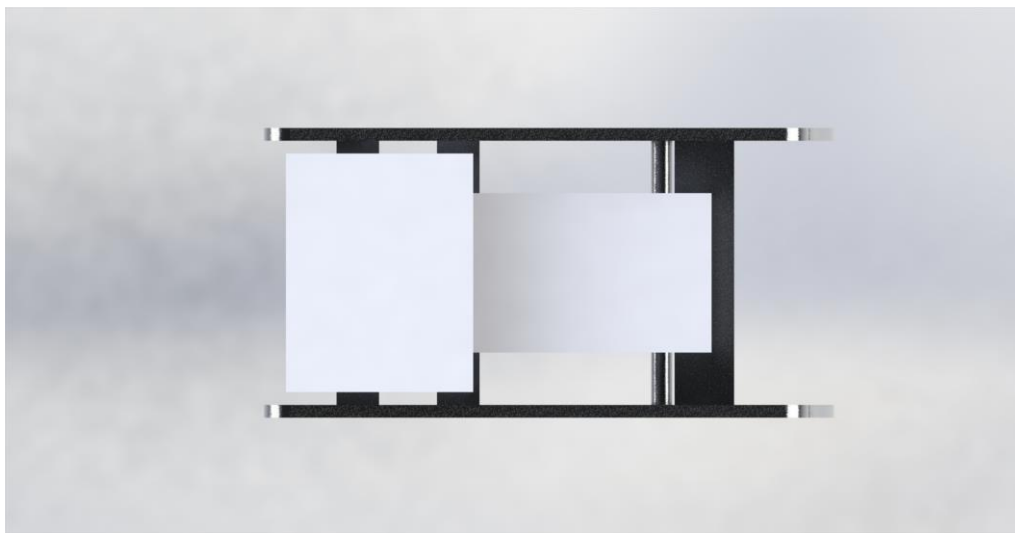
El bastidor nuevamente cuenta con la misma línea de diseño del anterior, el cual está formado por dos planchas de aluminio de 15mm de grosor unidas por una plancha de aluminio de manera que sea portante para todo el conjunto de las baterías. Se produce a hacer un estudio de análisis de las fuerzas que actuarían en este por tal de evaluarlo y ver su viabilidad mediante el método de elementos finitos.



*Ilustración 62 Resultados de la primera modificación del bastidor*

Analizado el bastidor se observa que este ha mejora notablemente la rigidez, ya que el mapa de tensiones de este se ve en un rango de valores más inferiores. Pero en cambio, este bastidor

presenta varias desventajas. La primera, su longitud entre el punto de ensamble de la pipa de dirección hasta las perforaciones donde se ensambla el subchasis es de larga distancia, dando alrededor de 630mm. La distancia se ha de reducir ya que se ha de contar también con la distancia del basculante y cambiar lo mínimo posible las geometrías establecidas de la motocicleta. El segundo problema que se presenta es que en este caso no se ha llegado a una idea de cómo llevar a cabo la colocación de la plancha inferior de aluminio, lo cual es algo que se debía seguir optimizando. El mayor problema que presenta dicho bastidor es su amplitud, a primera instancia sí que interesa esta amplitud para la parte delantera de la motocicleta donde el “battery pack” sí que es de este valor, pero para la parte trasera, el conjunto de baterías se estrecha, como se puede observar en la ilustración 63. Al disminuir la amplitud del pack de baterías quedarían unos espacios entre este y el bastidor que no interesan en el diseño, ya que es espacio que no es necesario, ya que ahí no se ha de colocar nada.



*Ilustración 63 Situación del battery pack en el bastidor*

Es por este último punto donde se decide realizar y llevar a cabo un bastidor que sea de amplitudes diferentes, pero manteniendo el método de fabricación, es decir, que este continúe siendo viable mediante corte láser. Además, aplicando los puntos anteriores al diseño este ha de mantener todas las propiedades mecánicas que se requieren y este soporte con creces las solicitaciones de la motocicleta. Ante dicha necesidad se presenta el siguiente diseño:



Ilustración 64 Diseño del bastidor ante la segunda modificación del bastidor

La nueva propuesta de diseño para el bastidor consta de diferentes piezas, por tal de que permita al bastidor cambiar de amplitud donde se requiere. Esta vez el bastidor adopta de una mejor manera la forma del conjunto de baterías. El realizar el bastidor de esta manera proporcionará al piloto una mejor posición para la conducción del prototipo en carrera mejorando la ergonomía de este de manera notable.

El bastidor esta vez queda formado por un total de cinco piezas donde los laterales quedan formados por un conjunto de dos planchas independientes permitiendo de esta manera reducir la amplitud del bastidor las cuales se unen mediante un casquillo y un pasador. Nuevamente, se tiene presente la plancha inferior de aluminio para el soporte de las baterías. Para observar la

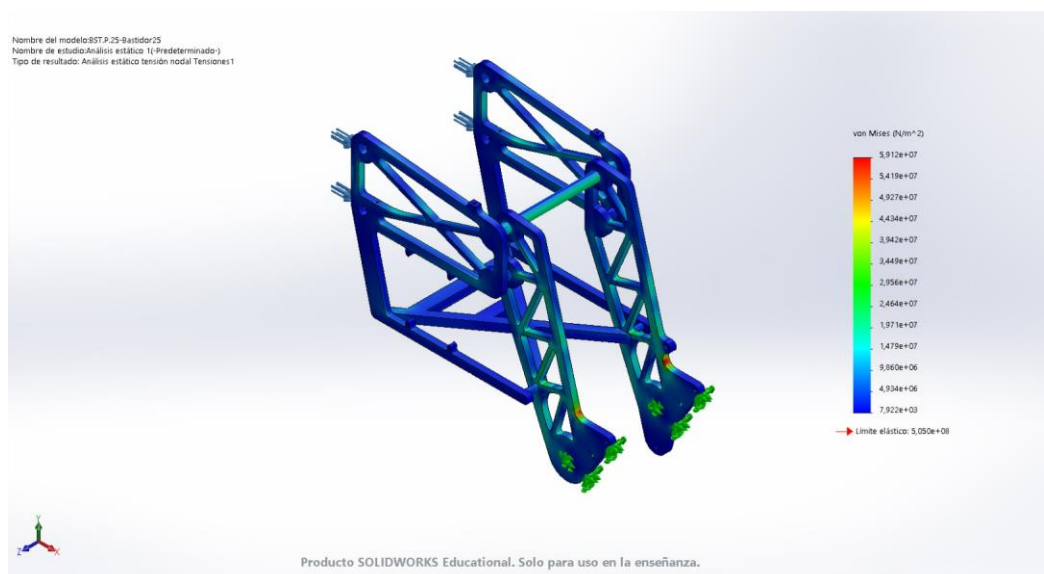


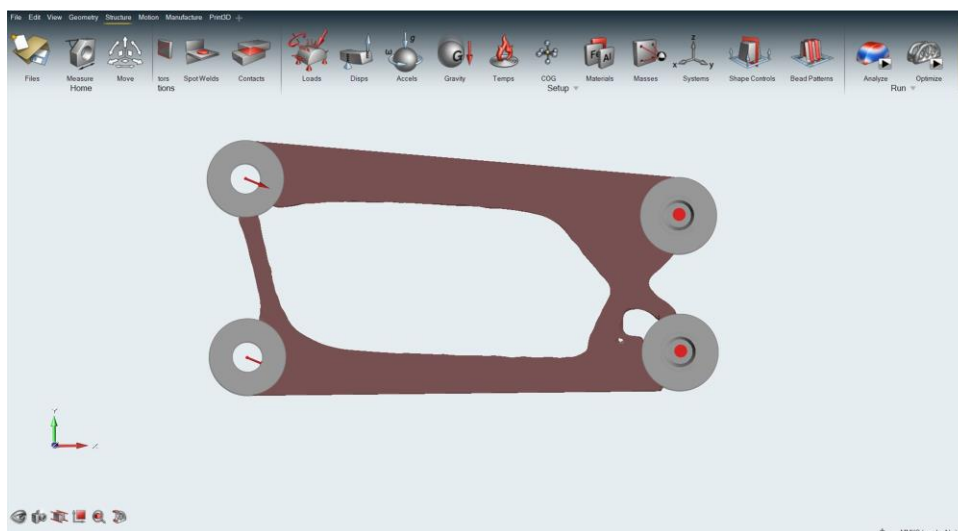
Ilustración 65 Resultados del diseño ante la segunda modificación



viabilidad de esta nueva propuesta de diseño se procede a realizar un análisis mediante elementos finitos de este diseño. Se aplicarán las mismas condiciones de calculo que en los anteriores casos para poder visualizar de una manera más dinámica los resultados.

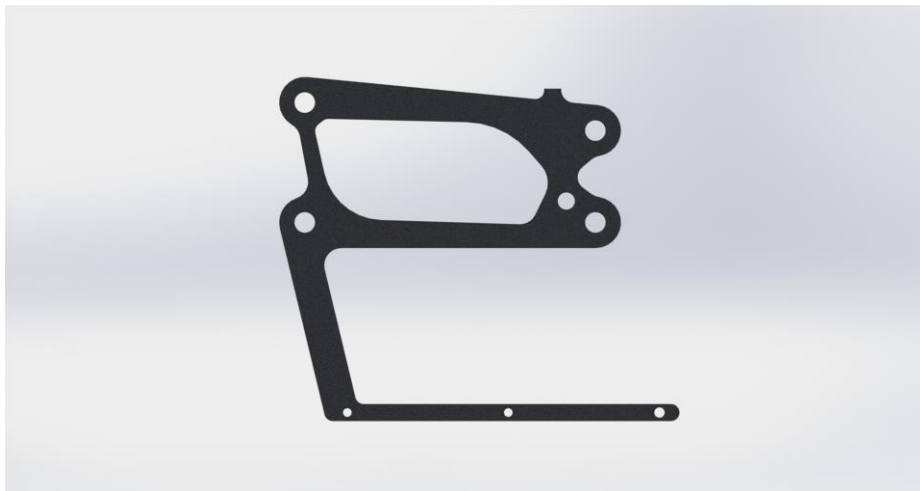
Realizado el análisis estructural del bastidor se puede observar que este soporta todas las sollicitaciones provocadas por la motocicleta recibiendo deformaciones muy pequeñas y con un mapa tensional bastante equilibrado según la situación en la que se ha analizado. Aún y así este diseño puede ser mejorado y reforzado en sus puntos débiles y mejorar el mapa tensional del bastidor ya que en la zona intermedia de este se puede observar que sufre en las planchas traseras y el eje de unión de estas.

Una vez decidida esta línea de diseño en la cual se apuesta finalmente por un bastidor de amplitud variable se decide realizar un estudio de optimización de las planchas laterales por tal de analizar la forma óptima que ha de adoptar el bastidor según el comportamiento que queremos que este adopte. Este proceso de optimización se realizará mediante el software proporcionado por Altair mediante uno de sus programas llamado Inspire. Se introducirá la plancha de aluminio con la forma exterior definida pero la zona interior sin modificar por tal que el propio programa haga un análisis de optimización del diseño. Por tal de obtener los resultados de optimizado se introducirá la situación extrema a la que este se encontrará en carrera juntamente con el tipo de aluminio del cual será fabricada la pieza. Una vez introducidos todos los datos y la situación en la que se realizará el análisis se obtiene la siguiente optimización:



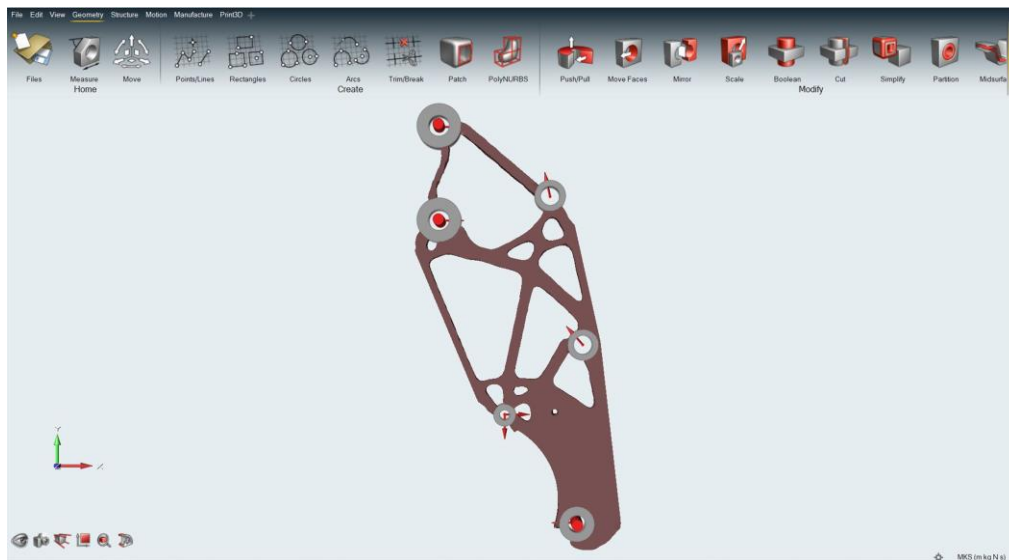
*Ilustración 66 Optimización de las planchas laterales del bastidor*

A partir de este análisis de optimizado se puede observar la cantidad de material que no resulta necesaria por tal que este aguante los esfuerzos críticos de la motocicleta, concretamente se ha llevado a cabo un análisis de optimización de masa de rigidez máxima al 40%. Una vez se obtiene este resultado se pasa a realizar el modelado 3D de esta pieza mediante el uso de SolidWorks. Durante este proceso se incluirá todo el sistema de enganche para las baterías de la zona inferior de la motocicleta, ya que para la optimización esta parte iba ser insignificante y el programa iba a despreciar este parte. Expuestos todos estos puntos a tener en cuenta se presenta el nuevo diseño para dicha pieza.



*Ilustración 67 Diseño final de las planchas laterales después de su optimización*

Como se puede observar se ha seguido la línea de diseño que el análisis de optimización dejaba entrever en el resultado donde en este se ha reducido el peso ya que toda la zona central de la plancha queda exenta de material, pero sin perder las propiedades mecánicas que se requieren. Es por ello por lo que se procede a realizar un análisis mediante el método de elementos finitos para el diseño de la nueva propuesta.



*Ilustración 69 Optimización de las planchas laterales posteriores del bastidor*

Analizada la plancha de aluminio se puede ver que esta soporta de manera notable las solicitaciones bajo las que esta será sometida, tal y como se muestra en el mapa de tensiones de esta. Se le ha aplicado una fuerza de 2500N en cada uno de los agujeros que unirán el bastidor con la pila de dirección. Las fuerzas están aplicadas en una dirección de 23° respecto a la horizontal y el valor de estas se ha calculado a partir de los 300kg de fuerza aplicados en la rueda delantera durante las pruebas estáticas ya que puede considerarse el caso más desfavorable en este caso. Se puede observar que la pieza está sobredimensionada ya que su factor de seguridad es de 24,86 y su desplazamiento máximo es de tan solo 0,066mm.

De la misma manera se ha procedido a analizar las planchas laterales traseras, las que se sitúan más hacia adentro del bastidor haciendo variable la amplitud de este. Nuevamente se lleva a cabo un análisis de optimización de la estructura mediante el software proporcionado por Altair, mediante uno de sus programas modulares llamado Inspire. En este se introducirá el modelo macizo con la forma exterior definida donde se marcará la zona interior como la zona de diseño, donde el programa trabajará para llevar a cabo la optimización. Una vez introducidos todos los datos y la situación en la que se realizará el análisis se obtiene la siguiente optimización:

A partir de este análisis se puede observar donde se localiza el sobrante de material que no será necesario contar con él para llevar a cabo la fabricación de la pieza. Por tal de llegar a este resultado se han establecido dos puntos fijos para el caso de frenada máxima con el freno delantero y un punto fijo para el caso de aceleración máxima y se han aplicado las respectivas fuerzas que actuarán en esta según la situación en la que se analice. Además, a dicho estudio se le ha vuelto a aplicar un análisis de optimización de masa de rigidez máxima al 40%. Al igual que se ha realizado para el bastidor de la motocicleta, se procederá a realizar el mismo proceso de modelado del diseño de este componente, el cual se llevará a cabo mediante el uso de SolidWorks. Teniendo en cuenta todos los puntos citados anteriormente y los resultados del análisis se obtiene el siguiente modelo para dicha pieza.



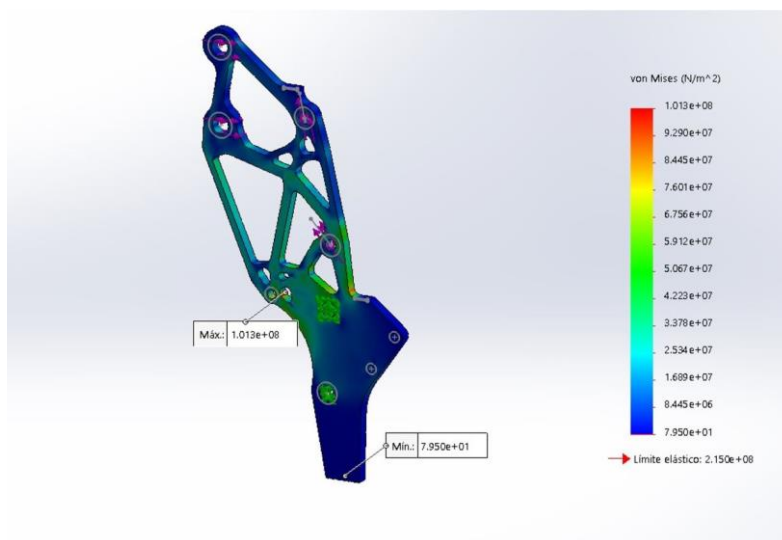
*Ilustración 70 Diseño final ante la optimización*

Para realizar este diseño 3D se ha seguido la línea de diseño que presentaba el resultado del estudio de optimización donde nuevamente se puede observar la reducción de material que este ha sufrido lo que permitirá realizar un bastidor mucho más ligero. En esta parte del bastidor se han añadido partes que el programa no tenía en cuenta, como es un enganche superior para el pack de batería y toda la parte inferior derecha de la pieza donde en esta se puede encontrar los alojamientos del eje de sección rectangular, donde se situará el soporte superior de la suspensión trasera, y los alojamientos de las uniones de las estriberas.

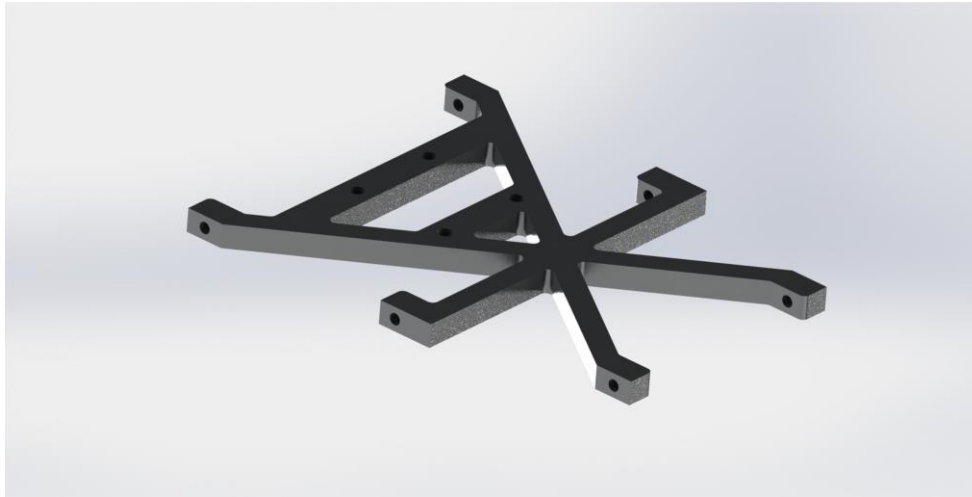
Para analizar y evaluar si este caso de optimización de la estructura será viable y soportará todos los requerimientos propuestos se lleva a cabo, nuevamente, un análisis mediante el método de elementos finitos realizado con SolidWorks utilizando el método de von Mises.

Con los resultados obtenidos se puede ver, gracias al mapa de tensiones del estudio que el prototipo de la pieza optimizada, que la propuesta se puede dar por apta. Además, se puede calcular que el coeficiente de seguridad de la pieza es de 2,122 y el desplazamiento máximo de esta es de 1,034mm.

Una vez se tiene el diseño de las partes laterales del bastidor se procede a realizar el diseño de la plancha inferior del bastidor la cuál contribuirá a cerrar el chasis juntamente con la pipa de dirección. Para realizar esta pieza se utilizará una plancha de aluminio de 20mm de grosor, esta es necesaria que sea algo más gruesa que el resto de planchas para que de sujeción y rigidez a la estructura y que haga que en el paso por curva o en los momentos en los que el bastidor este



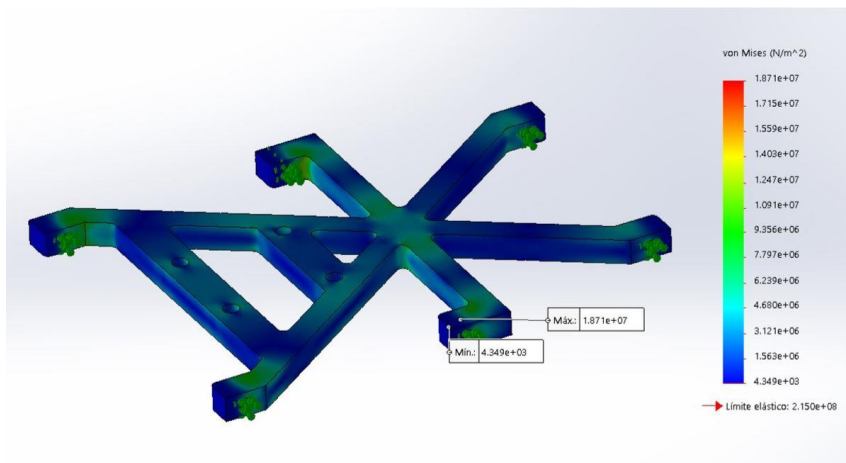
*Ilustración 71 Resultados de la optimización de las planchas laterales posteriores*



*Ilustración 72 Diseño de la plancha inferior del bastidor*

sometido a esfuerzos de torsión las planchas de un lado no se levanten más de un lado que del otro, sino que este adopte una forma de bloque y todo se comporte de la misma manera.

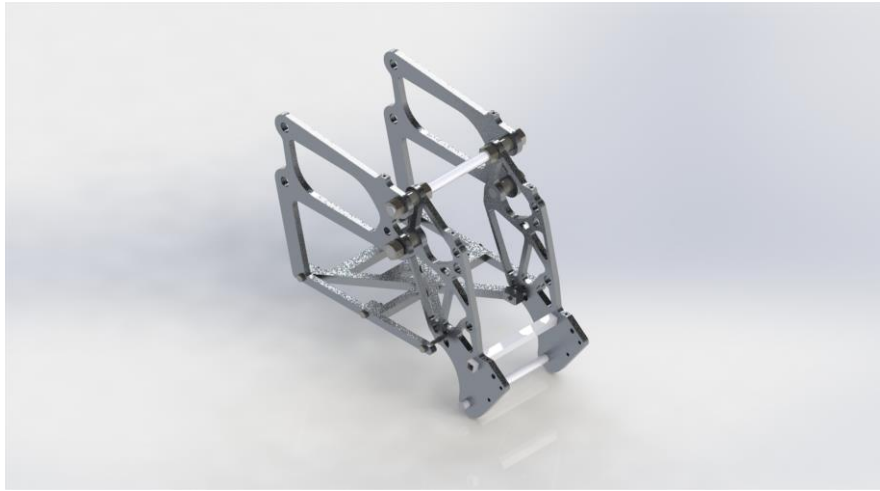
Se puede decir que esta pieza adopta la estructura de tela de araña la cual esta queda atornillada a las planchas laterales del bastidor por tal que las baterías reposen sobre esta. Además, con esta plancha se permite la sujeción del motor ya que esta cuenta con cuatro orificios por donde se atornillará el soporte del motor, fabricado en fibra de carbono. Se lleva a cabo una simulación mediante elementos finitos para observar cómo responde la pieza ante las fuerzas.



*Ilustración 73 Resultados de la simulación de la plancha inferior*

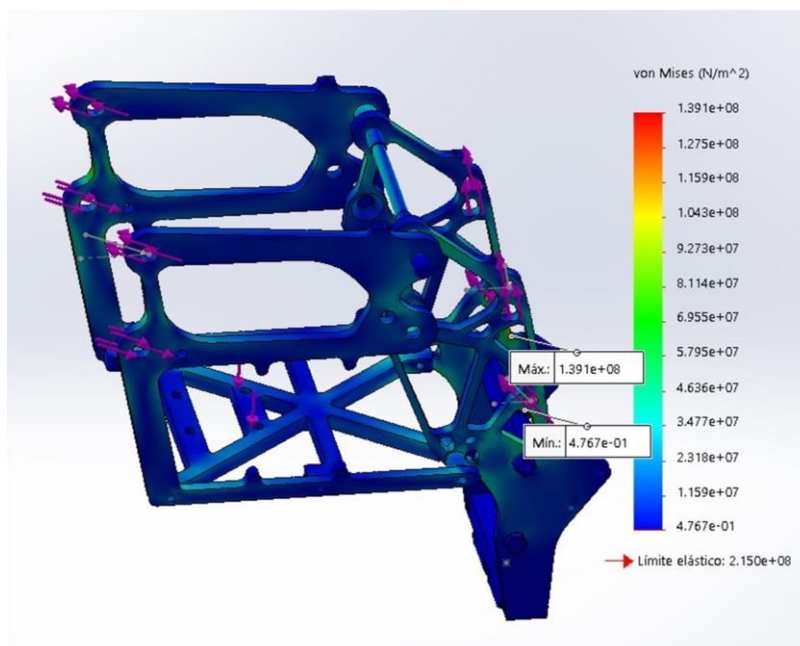
Como se puede observar, en el mapa de tensiones, el diseño de la pieza puede ser aceptado debido a su consistencia. El factor de seguridad de esta da un resultado de 11,5 lo cual nos indica que esta está sobredimensionada con un desplazamiento máximo de solamente de 0,065mm.

Una vez vistas las tres piezas principales por las que se compone el bastidor diseñado se decide realizar un ensamblaje de todo el bastidor juntamente con elementos auxiliares que también lo componen.



*Ilustración 74 Ensamblaje de todas las piezas diseñadas*

Se puede ver cómo queda todo el chasis diseñado, a excepción de la pipa de dirección, donde se puede observar que en la parte alta de este se ha colocado un eje pasante por tal de mantener por la parte de arriba la estructura y esta no padezca deformaciones hacia dentro o hacia afuera, ya que se observó que este era un punto crítico en un principio. A continuación, se hará un análisis mediante elementos finitos de todo el conjunto del bastidor donde en este se encuentran todas y cada una de las piezas anteriormente expuestas por tal de observar y evaluar si como bloque cumple todos los requerimientos.



*Ilustración 75 Resultados de la simulación del ensamblaje del bastidor*

Para la obtención de dichos resultados se ha aplicado las fuerzas que deberá soportar la motocicleta durante las pruebas estáticas, es decir, una fuerza aplicada sobre el asiento del piloto y también sobre la rueda delantera. Como resultado se ha obtenido una estructura lo suficientemente rígida y apta como para soportar todas las cargas y sollicitaciones necesarias.

### 5.3 Proceso de diseño del basculante

En este apartado se plantearán, primeramente, los cálculos del sistema de bieletas que tendrá que soportar el basculante donde se analizarán dos situaciones críticas: aceleración máxima de la motocicleta y compresión máxima del muelle. En cada una de estas situaciones se planteará el análisis de cada una de las dos piezas que conforman el sistema de bieletas (balancín y link) juntamente con las simulaciones respectivas de estas. Por último, se llevará a cabo todo un seguimiento y evolución del conjunto del basculante hasta llegar al diseño final. Cada una de las propuestas de diseño serán analizadas, estudiadas y simuladas por tal de describir su composición, actuación y errores que se puedan contemplar.

#### 5.3.1 Cálculos del sistema de bieletas

En carrera, el caso más desfavorable al que se verán sometidas las bieletas es el de aceleración máxima. Pese a esto a la hora de simular se estudiará una hipotética situación de compresión máxima del amortiguador que se llevará instalado en el prototipo, donde se planteará un caso



de estudio aún más desfavorable que el anterior, al cual no se debería llegar bajo ningún concepto en carrera.

#### 5.3.1.1 Estudio para aceleración máxima

Para el caso de aceleración máxima se estudiarán las fuerzas que aparecen en el balancín o rocker y en link del sistema de bieletas al arrancar la moto con su máxima aceleración. La fuerza que aparece en la rueda trasera en esta situación es la considerada en el apartado de cálculos de cargas estructurales, correspondiente a la situación de aceleración que se puede encontrar en el punto “4.1.1. Aceleración máxima”. En este se observa que el valor de la fuerza que se obtiene es de 2158,2N.

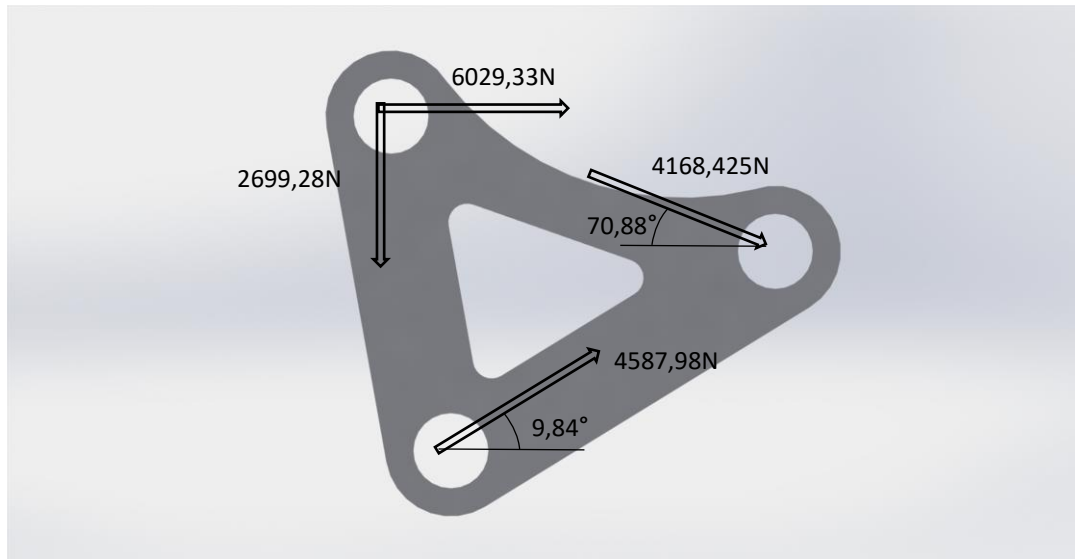
A través de este valor de la fuerza se busca un valor aproximado en la tabla de resultados que el programa Foale proporciona dados los datos introducidos, describiendo mediante una gráfica y valores cómo se comportará la suspensión trasera de la motocicleta. La fuerza más próxima a este valor es la conseguida para un desplazamiento vertical de 49 mm en la rueda trasera, pero ligeramente inferior, por lo que consideramos el escenario de carga correspondiente a 50 mm de hundimiento trasero, lo cual nos hará estudiar una situación un poco más desfavorable a la real de máxima aceleración considerada en los cálculos estructurales iniciales, aportando cierto coeficiente de seguridad a las simulaciones que realicemos.

Wheel displ.	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rocker load total	Rocker load vert	Rocker load horiz.	Link force
49	4094,604	2156,3950	4471,28	1033,96	-4350,09	6479,25	-2661,87	5907,21	-4493,23
50	4168,425	2200,6931	4562,59	1048,99	-4440,37	6605,97	-2699,28	6029,33	-4587,98
51	4242,428	2245,2847	4654,54	1063,96	-4531,31	6733,40	-2736,46	6152,27	-4683,46

Tabla 5 Fragmento de la tabla de resultados proporcionados por el Foale

##### 5.3.1.1.1 Análisis del “rocker” o balancín

El conjunto de fuerzas que se encuentran en el balancín se recogen sus valores en la siguiente imagen.



*Ilustración 76 Situación de las fuerzas en el rocker o balancín*

Para la simulación estructural por elementos finitos del balancín se realizarán varias simulaciones, ya que es difícil hacer una simulación exacta de lo que puede suceder en el rocker o balancín. En cada simulación se fijará uno de los agujeros donde se sitúan los rodamientos, y en los otros dos se aplicarán las fuerzas extraídas de la tabla que proporciona el Foale ante los parámetros introducidos. Las simulaciones siguientes son realizadas mediante uno de los programas de Altair con el llamado Inspire.

#### 5.3.1.1.1.1 Simulación y análisis con el punto “pivot” fijo

Para la primera simulación se fijará el “pivot”, el punto situado arriba a la izquierda del rocker, punto que ancla directamente en el chasis de la motocicleta. A continuación, se presenta las tensiones que sufre la pieza y sus valores correspondientes.

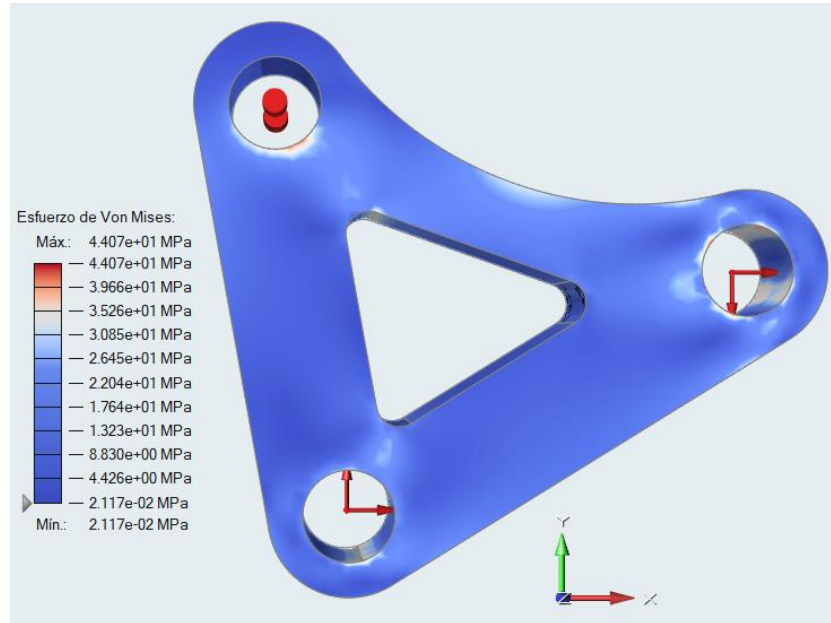


Ilustración 77 Simulación de esfuerzos con punto “pivot” fijo

Se puede observar, mediante el mapa de tensiones de von Mises, que todo el rocker soporta las sollicitaciones de las fuerzas que se extraen de la tabla de resultados del Foale. Se puede observar que el punto que se ha fijado contiene una zona roja en la parte inferior que indica que esa zona es la que sufre más tensión, pero cabe destacar que esto no será así ya que ese punto contendrá un rodamiento que permitirá al rocker su libre movimiento ante el pivotamiento del basculante.

En la siguiente imagen se presenta el diagrama de desplazamientos que sufre el balancín.

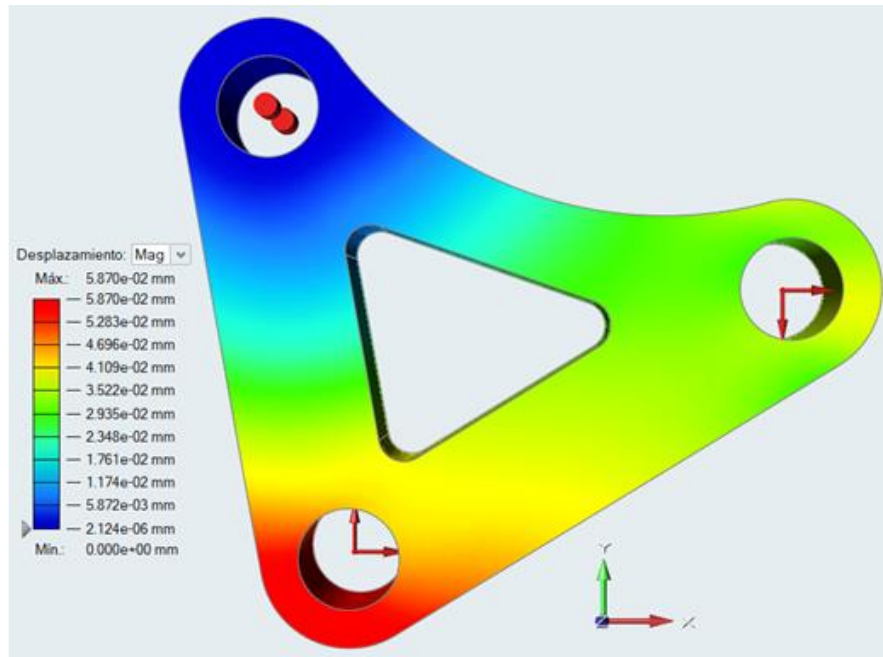


Ilustración 78 Resultados de desplazamientos con punto "pivot" fijo

En esta imagen se puede observar el resultado de fijar el punto del "pivot", provoca que la parte opuesta sea la que más desplazamiento sufra. Por último, se presenta los valores de factor de seguridad que se plantean en la pieza.

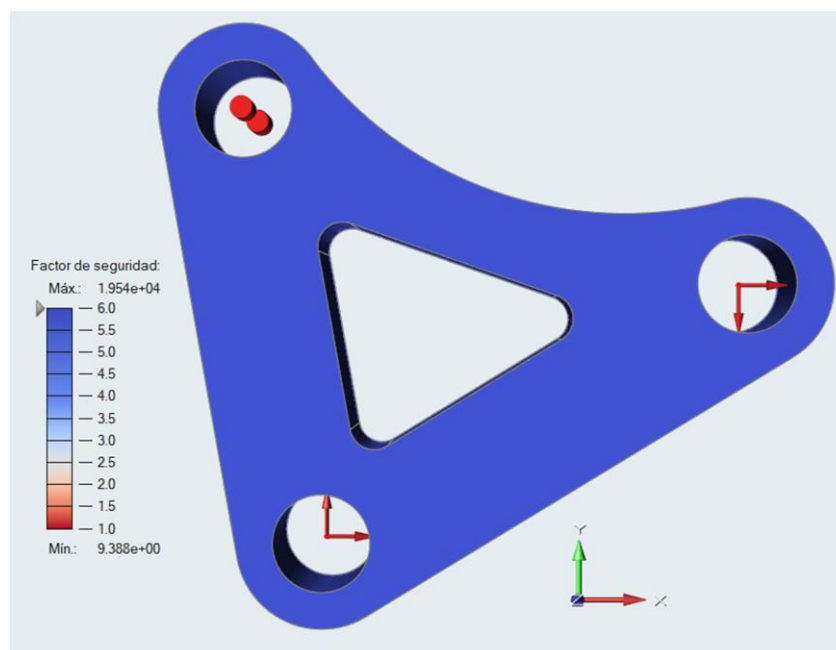


Ilustración 79 Resultados de factor de seguridad con punto "pivot" fijo

## 5.3.1.1.1.2 Simulación y análisis con el punto “shock” fijo

Seguidamente se plantea el segundo caso de simulación, donde esta vez se toma como punto fijo el “shock”, el punto del balancín donde va anclada la suspensión trasera. A continuación, se presenta las tensiones que sufre la pieza y sus valores correspondientes.

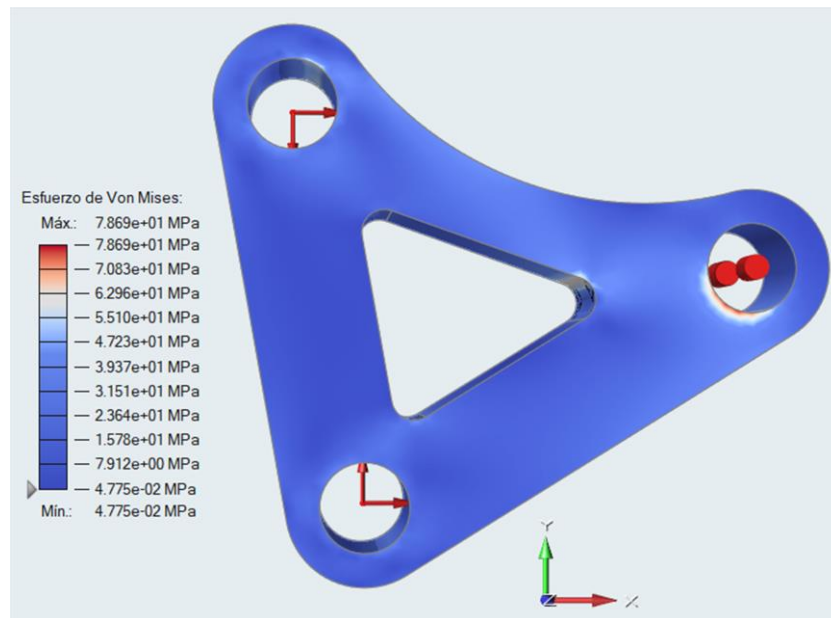


Ilustración 80 Simulación de esfuerzos con punto “shock” fijo

Se puede observar que el punto que se ha fijado contiene una zona roja en la parte inferior que indica que esa zona es la que sufre más tensión, pero cabe destacar que esto no será así ya que ese punto contendrá un rodamiento que permitirá al rocker su libre movimiento ante el pivotamiento del basculante en ese punto, por lo que esa zona crítica desaparecerá.

En la siguiente imagen se presenta el diagrama de desplazamientos que sufre el balancín.

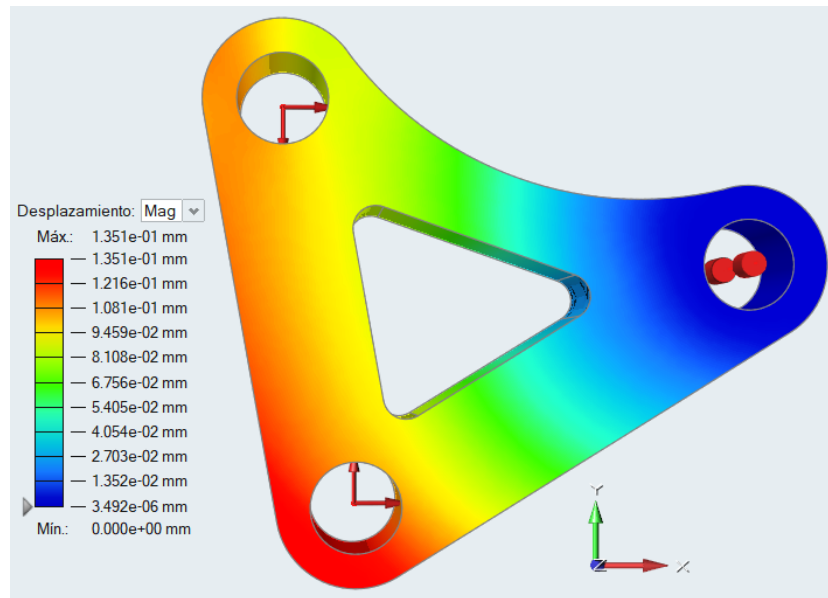


Ilustración 81 Resultados de desplazamientos con punto “shock” fijo

En esta imagen de desplazamientos del balancín, se puede observar el resultado de fijar el punto del “shock”, provoca que la parte opuesta sea la que más desplazamiento sufra. Por último, se presenta los valores de factor de seguridad que se plantean en la pieza.

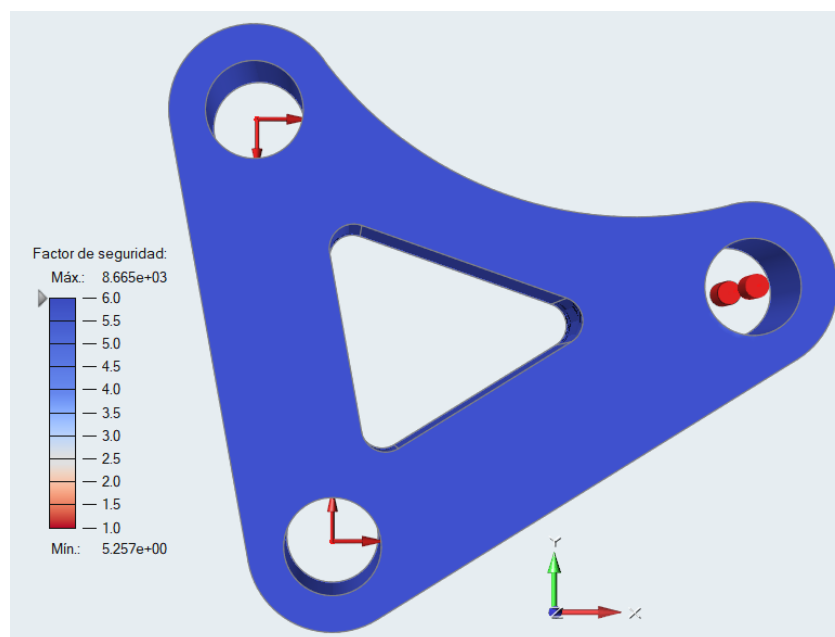


Ilustración 82 Resultados de factor de seguridad con punto “shock” fijo

#### 5.3.1.1.1.3 Simulación y análisis con el punto “link point” fijo

Por último, se analizará el balancín tomando esta vez como punto fijo el “link point”, el punto del balancín donde va anclado el link del sistema de bieletas. A continuación, se presenta las tensiones que sufre la pieza y sus valores correspondientes.

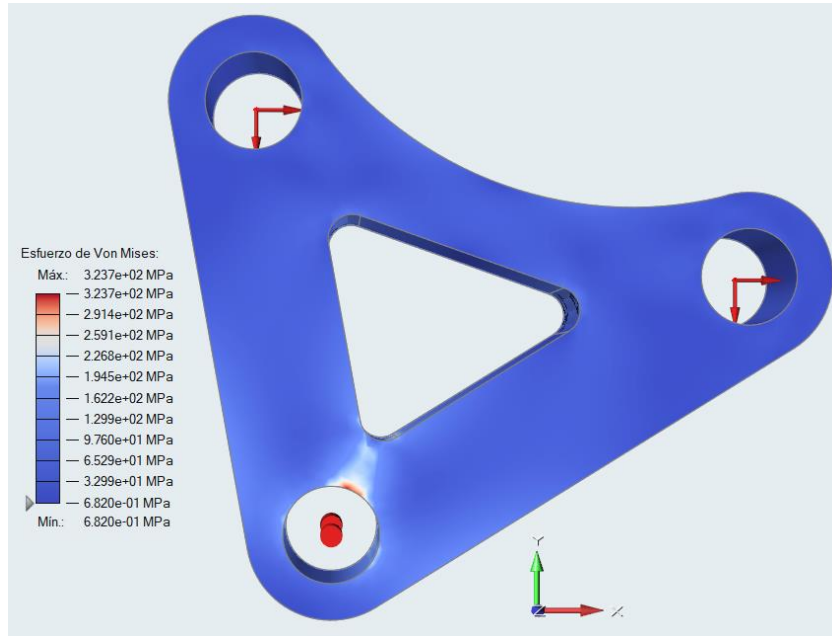


Ilustración 83 Simulación de esfuerzos con punto “link” fijo

En la siguiente imagen se presenta el diagrama de desplazamientos que sufre el balancín.

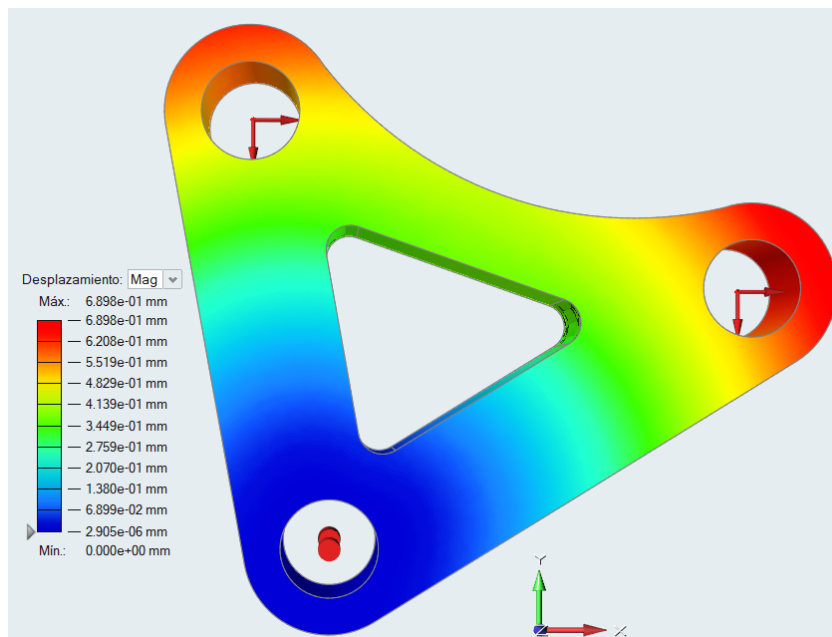
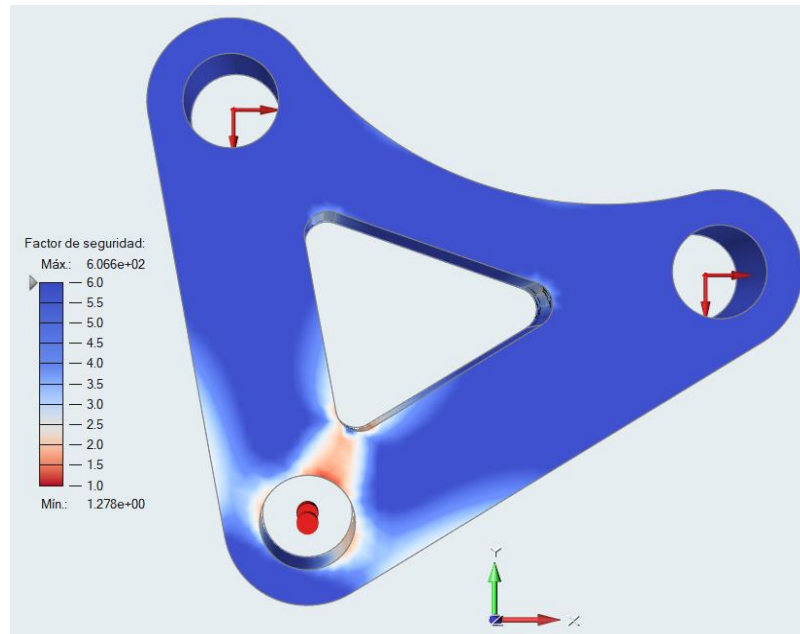


Ilustración 84 Resultados de desplazamientos con punto “link” fijo

En esta imagen se puede observar el resultado de fijar el punto del “link point”, provoca que la parte opuesta sea la que más desplazamiento sufra. Por último, se presenta los valores de factor de seguridad que se plantean en la pieza

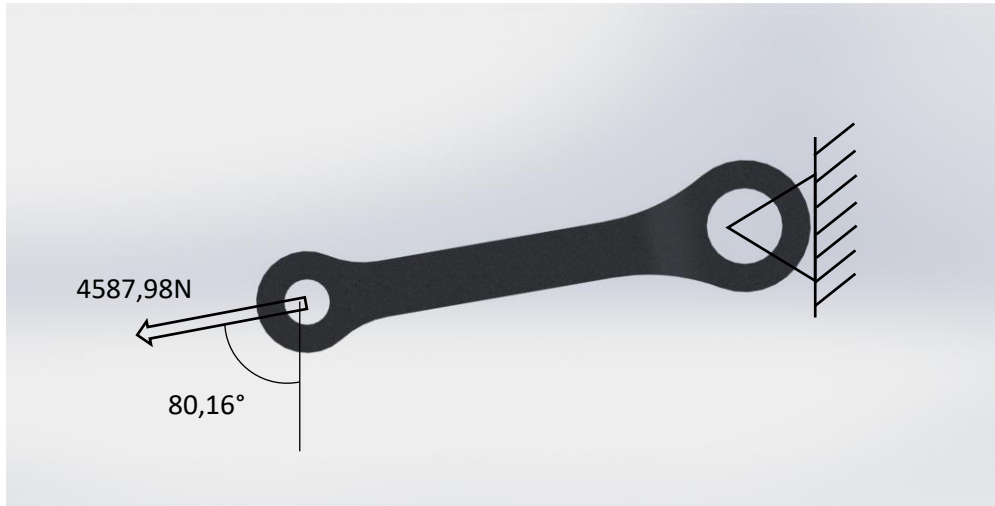


*Ilustración 85 Resultados de factor de seguridad con punto “link” fijo*

#### 5.3.1.1.2 Análisis del link

El link que forma parte del sistema de bieletas está sometido en este caso a tracción, por lo que a la hora de llevar a cabo las simulaciones se fijará uno de sus extremos y se aplicará la carga correspondiente en el extremo contrario. Para identificar las fuerzas que actuarán en este se buscarán los datos de estas en la tabla que el Foale proporciona y como se puede observar en la tabla 5. El valor de estas fuerzas se recoge en la siguiente imagen.





*Ilustración 86 Situación de las fuerzas en el link*

Para la simulación del link del sistema de bieletas se llevará a cabo mediante el método de los elementos finitos, el cual se realizará mediante uno de los programas de Altair con el llamado Inspire. En este caso se tendrá en cuenta una situación, es decir, se tendrá como punto fijo el punto de unión con el basculante.

#### 5.3.1.1.2.1 Simulación y análisis con el punto de unión al basculante fijo

Para llevar a cabo la simulación del link, se tomará como fijo el punto de unión del link con el basculante. Además, para realizar la simulación y análisis de este componente se contarán con las fuerzas expuestas en la ilustración 86. A continuación, se presenta las tensiones que sufre la pieza y sus valores correspondientes.

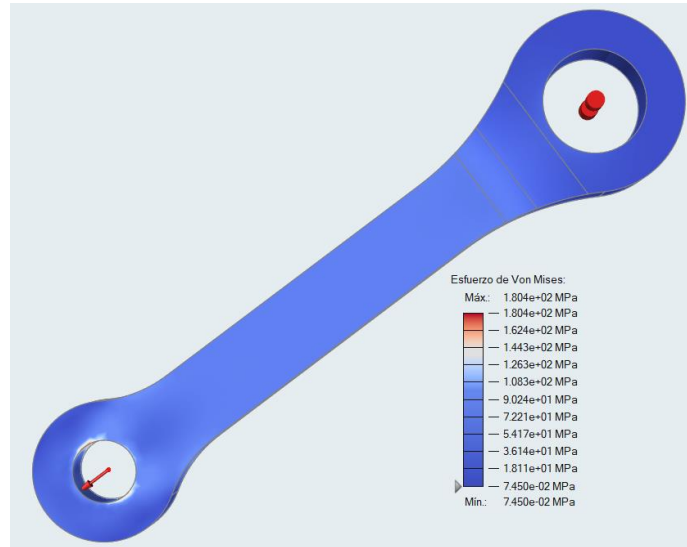


Ilustración 87 Simulación de esfuerzos en el link

Se puede observar, mediante el mapa de tensiones de von Mises, que todo el link soporta las sollicitaciones de las fuerzas que se extraen de la tabla de resultados del Foale. En la siguiente imagen se presenta el diagrama de desplazamientos que sufre el balancín.

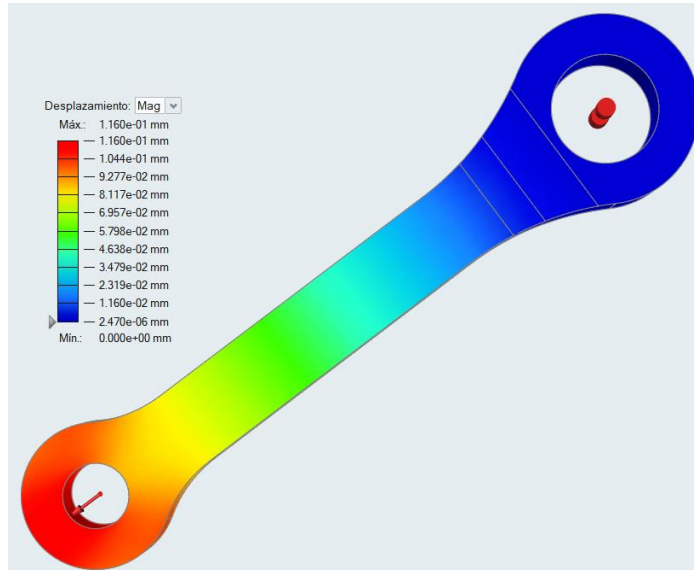


Ilustración 88 Resultados de desplazamientos en el link

En esta imagen se puede observar el resultado de fijar el punto de anclaje con el basculante provoca que la parte opuesta sea la que más desplazamiento sufra. Por último, se presenta los valores de factor de seguridad que se plantean en la pieza.

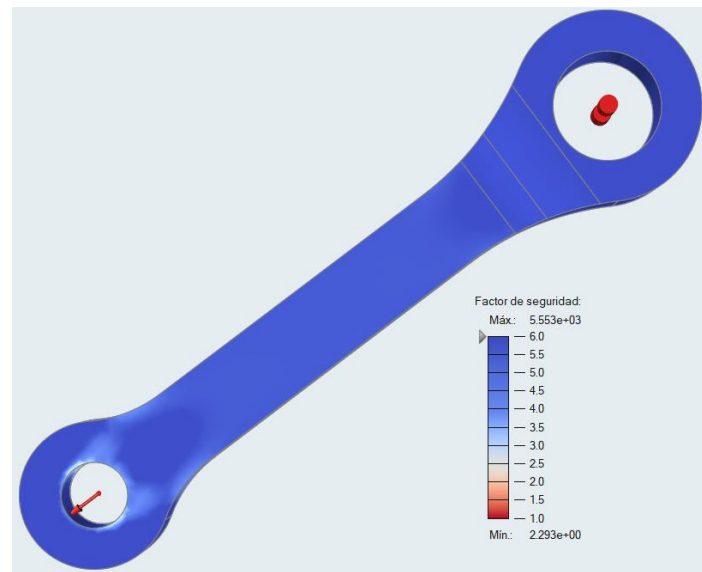


Ilustración 89 Resultados del factor de seguridad del link

#### 5.3.1.2 Estudio para máxima compresión del muelle

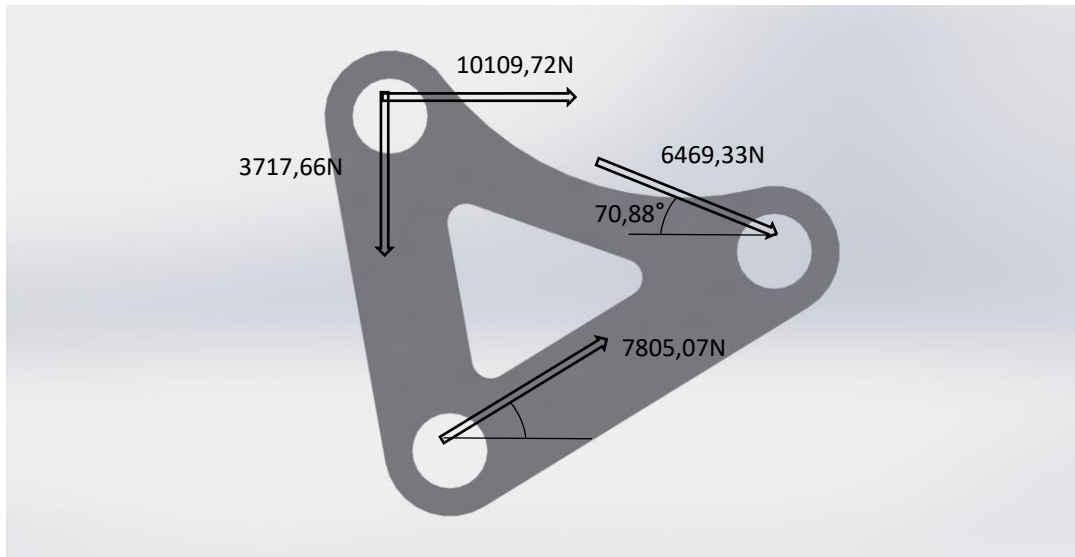
Para la situación de máxima compresión del muelle se estudiarán las fuerzas que aparecen en el balancín y en el link del sistema de bieletas de la motocicleta cuando el muelle de la suspensión trasera se encuentre en su recorrido máximo de compresión antes de hacer tope y pasar a comportarse como un cuerpo rígido. Según el tipo de muelles que se llevará instalado en la motocicleta se sabe que el muelle comprimido en su máxima posición adopta una distancia de 42mm.

Por tal de lograr que el resorte de la suspensión haga tope es necesario un hundimiento trasero de la moto de 80mm, donde para llegar a tal valor sería necesario obtener una fuerza de 3676,3376N en la rueda trasera para que esta situación se ocasione. Como se conoce que es necesario un hundimiento de 80mm en la motocicleta se busca en la tabla de valores que proporciona la gráfica que describe el sistema de bieletas que proporciona el programa Foale. En esta situación no se llevarán a cabo las simulaciones estructurales del sistema de bieletas.

Wheel displ.	Spring load	Wheel load	Pivot load total	Pivot load vert.	Pivot load horiz.	Rocker load total	Rocker load vert	Rocker load horiz.	Link force
49	4094,604	2156,3950	4471,28	1033,96	-4350,09	6479,25	-2661,87	5907,21	-4493,23
50	4168,425	2200,6931	4562,59	1048,99	-4440,37	6605,97	-2699,28	6029,33	-4587,98
51	4242,428	2245,2847	4654,54	1063,96	-4531,31	6733,40	-2736,46	6152,27	-4683,46

Tabla 6 Fragmento de la tabla de resultados que presenta el Foale ante la situación de máxima compresión del muelle

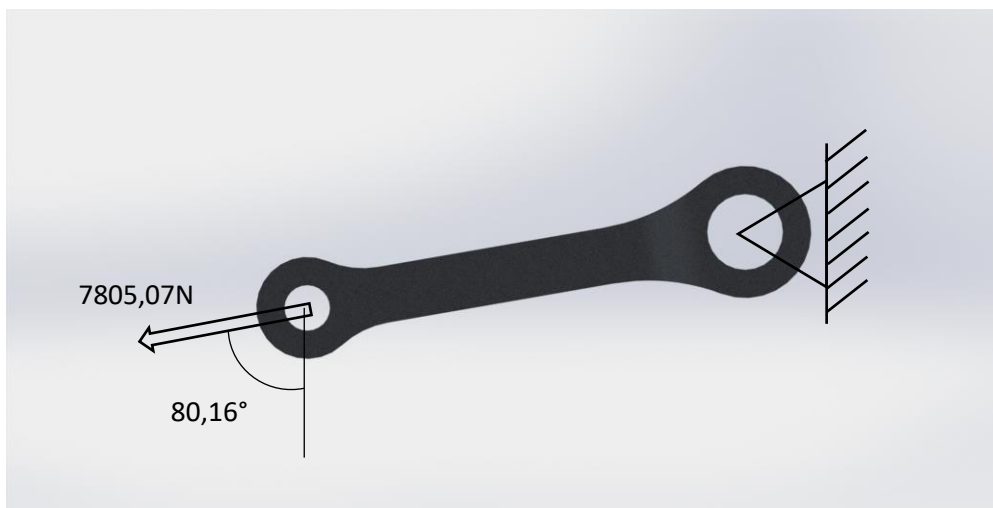
El conjunto de fuerzas que se encuentran en el balancín se recogen los valores en la siguiente imagen.



*Ilustración 90 Situación de las fuerzas en el rocker o balancín ante máxima compresión del muelle*

#### 5.3.1.2.2 Fuerzas situadas en el link

Para identificar las fuerzas que actuarán en este se buscarán los datos de estas en la tabla que el Foale proporciona y como se puede observar en la tabla 6. El valor de estas fuerzas se recoge en la siguiente imagen.



*Ilustración 91 Situación de fuerzas en el link*

### 5.3.2 Evolución del diseño del basculante

Durante el proceso de diseño del basculante de la motocicleta se han analizado todos los diseños a medida que estos iban surgiendo. Estos siempre han sido analizados y estudiados por tal de visualizar si estos cumplían con todos los requerimientos y objetivos que se plantean para esta a la vez que se observa que estos sean fabricables y realmente puedan ser llevados a cabo a la realidad.

Al igual que para el diseño del bastidor del prototipo, algo que ha determinado de forma notable el diseño del bastidor ha sido su método de fabricación, ya que se ha buscado que este sea económico a la hora de ser fabricado, una de las variables más críticas que determinan al equipo a la hora de desarrollar un diseño.

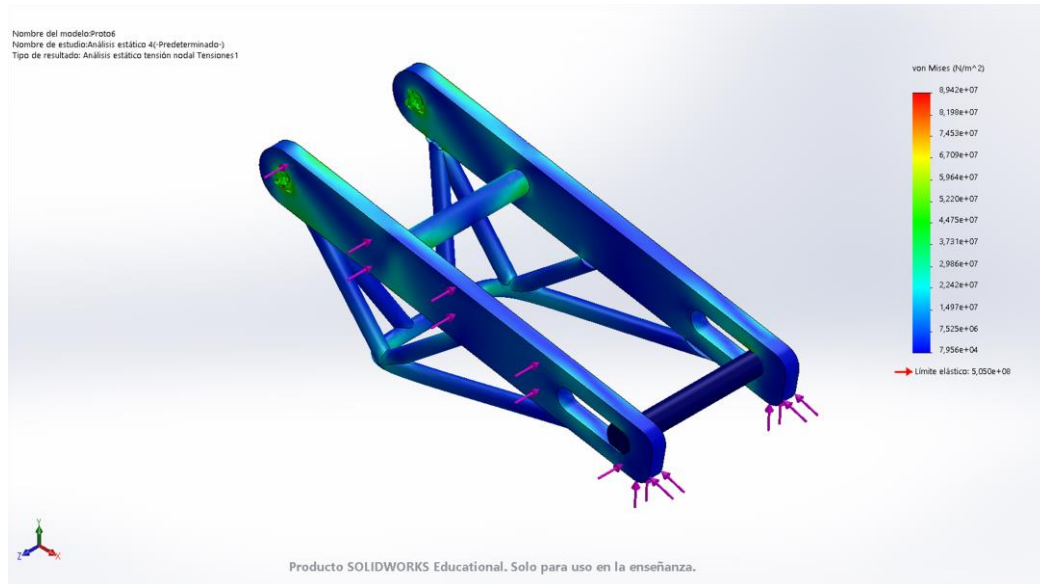
Para continuar con la línea de diseño del bastidor de la motocicleta y presentar una homogeneidad de diseño en esta se decidió en un primer momento presentar un diseño que también fuese fabricado mediante corte láser y optimizar este al igual que el diseño del bastidor. Es por eso, que el primer diseño que se analizó fue el compuesto por dos planchas de aluminio cortadas por láser y toda una estructura de celosía triangulada de perfiles circulares soldados entre sí y las planchas de aluminio.



*Ilustración 92 Diseño de la propuesta final del basculante*

Por tal de evaluar el comportamiento de este diseño se procede a realizar un análisis mediante el método de elementos finitos, aplicando una fuerza de un total de 2600N en la parte final del basculante y añadiendo un supuesto de una fuerza lateral de 3000N. Estas fuerzas plantean un caso hipotético en la motocicleta donde la fuerza de 2600N se produce en aceleración máxima,

es decir, que esta situación se producirá en una recta, que es donde esta presentará su máxima aceleración. En cambio, la fuerza de 3000N puede que esta se presente quizá por la acción del viento en lateral hacia la moto o por alguna otra causa ajena a esta que produzca una torsión en esta. Esta situación se declara como la límite y la más crítica para analizar y llevar a cabo los



*Ilustración 93 Resultados de la simulación del basculante*

análisis del basculante. El resultado del estudio es el siguiente.

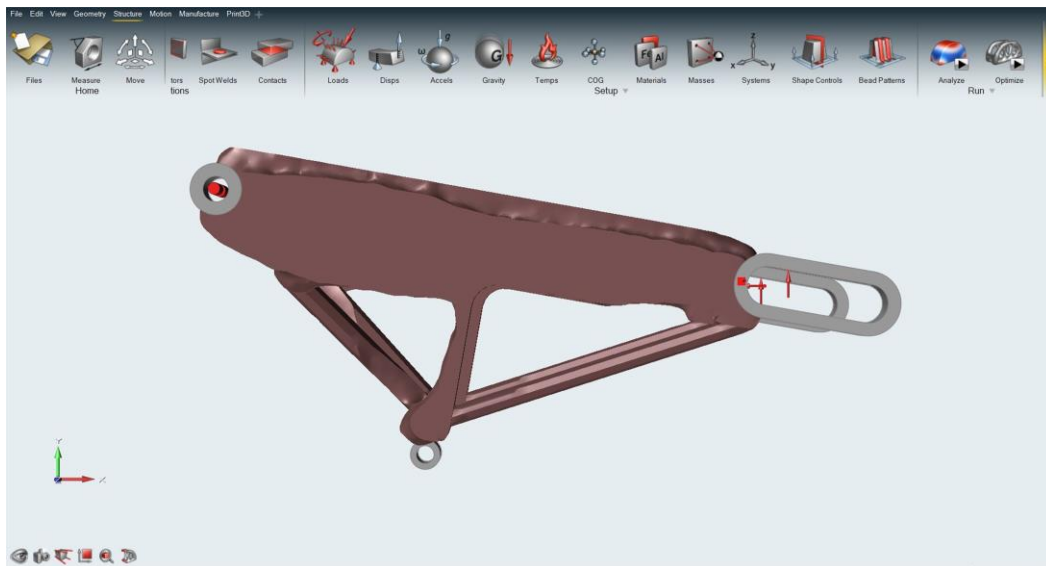
Como se puede observar en el mapa de tensiones del diseño propuesto para el basculante este soporta con creces los requerimientos de las fuerzas propuestos donde se puede destacar que una zona verde en la zona de los orificios que alojarán el eje del basculante y este resultado es fruto de que para el estudio se han fijado esos dos agujeros como geometría fija, pero posteriormente este, una vez instalado en la motocicleta, gracias a los cojinetes que se incluirán estos permitirán el pivotamiento de este desapareciendo esta zona crítica.

A pesar de obtener estos resultados, anteriormente expuestos, se decide avanzar con el diseño y buscar una nueva estética o llevar a cabo una mejor optimización de este. Es entonces cuando se opta por obtener una estructura donde prevalezca mucho más producción y fabricación mediante el corte láser y no tanto una estructura tubular. Para cumplir con este objetivo se presenta el siguiente diseño.



*Ilustración 94 Primera modificación del basculante*

En esta nueva propuesta de diseño se puede observar cómo los tubos de sección circular de los laterales han sido sustituidos por un aumento de la superficie de las planchas laterales de aluminio, las cuales serán cortadas por láser, manteniendo la zona central construida con tubos. El llevar a cabo este cambio produce un aumento de peso a la estructura, pero presenta ventajas a la hora de su fabricación y su coste. Teniendo esto en cuenta se lleva a cabo un proceso de optimización del diseño por tal de analizar cómo aligerar peso al basculante por tal mejorarlo, manteniendo la situación de las fuerzas que este soportará.



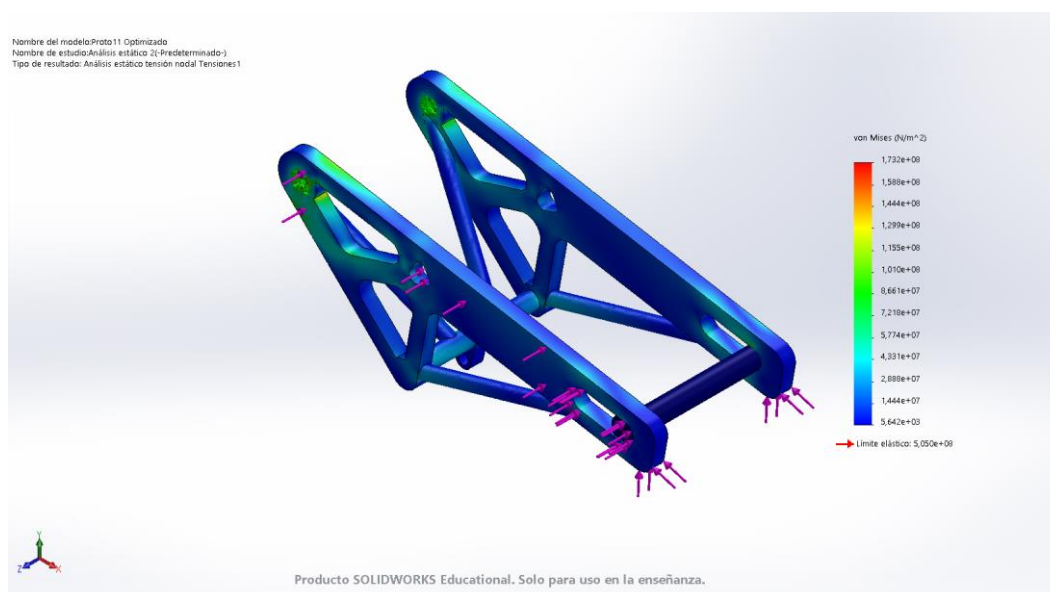
*Ilustración 95 Optimización de las zonas laterales del basculante*

El programa que realiza el estudio de optimización presenta como innecesaria toda la zona inferior izquierda que se puede observar en la fotografía anterior. A partir de este resultado se decide realizar un diseño del basculante que aligere notablemente el peso de este.



*Ilustración 96 Basculante optimizado*

En este diseño se ha optado por mantener la forma de las planchas laterales y vaciar material q no es necesario en la zona central de la parte delantera del basculante por tal de conseguir esa reducción de peso deseada. Por tal de evaluar nuevamente el diseño propuesto para esta vez se realiza un estudio de elementos finitos con SolidWorks.



*Ilustración 97 Resultados de la simulación del basculante optimizado*

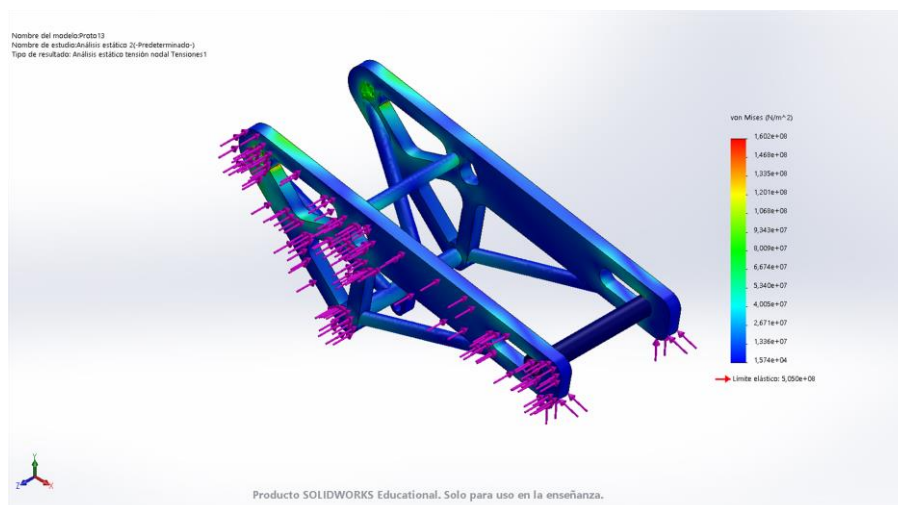


Mediante los resultados de la simulación se puede observar que este diseño soportando los requerimientos de las fuerzas en comparación al diseño anterior. Nuevamente, se puede destacar la zona verde situada cerca de los orificios que alojarán el eje del basculante debido a que estos se han tomado como geometría fija a la hora de analizar el diseño en el programa de simulación. Aún y así, se decide realizar el diseño del basculante presentado añadiendo un eje transversal en la parte superior de este por tal de mejorar la consistencia y rigidez estructural de este y analizar cómo se comporta y actúa ante esta mejora a primera instancia.



*Ilustración 98 Basculante con modificación*

Para el diseño que incorpora la mejora se procede a realizar el análisis de este mediante el método de elementos finitos por tal de observar cómo esta mejora afecta al diseño y todos los objetivos marcados anteriormente.



*Ilustración 99 Resultados de la simulación del basculante modificado*

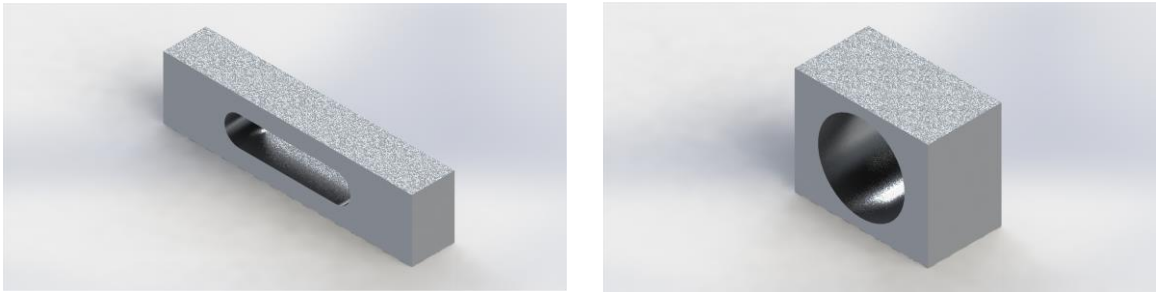
Con esta mejora incorporada al diseño anterior se puede observar que previamente la fuerza máxima que este soportaba adoptaba un valor de  $1.732e+08$  dando lugar a un coeficiente de seguridad de 2'92, sin embargo, ahora el valor máximo de fuerza que este soporta es de  $1.602e+08$ , por lo que la tensión máxima se ha visto reducida ocasionando así un aumento del factor de seguridad, el cual es de 3'15.

Se mantuvo esta opción como una de las propuestas finales a tener en cuenta y paralelamente se llevó a cabo un nuevo diseño de basculante para poder comparar con el presente y poder escoger la mejor opción entre estas. Se buscaba seguir economizando el proceso de fabricación y producción del basculante, pero sin perder propiedades mecánicas y rigidez. Una de las mejoras a las que se llegó fue en sustituir las planchas laterales de corte láser por perfiles normalizados de sección cuadrada y simplificando la estructura tubular evitando el doblado de tubos.



*Ilustración 100 Basculante con perfiles normalizados de sección cuadrada*

Visto este diseño se pueden ver varias formas para acabar de cerrar de forma correcta la propuesta presenta por tal de reforzar la zona del coliso trasero por tal de permitir un mejor desplazamiento de la rueda y poder tensar la cadena. Otro punto en el que se puede mejorar es crear un alojamiento para los cojinetes que permitirán el pivotamiento del basculante libremente. Ante esto se proponen dos piezas fabricadas mediante mecanizado, el diseño de estas es el siguiente.



*Ilustración 101 Alojamiento para el coliso y cojinetes del basculante*

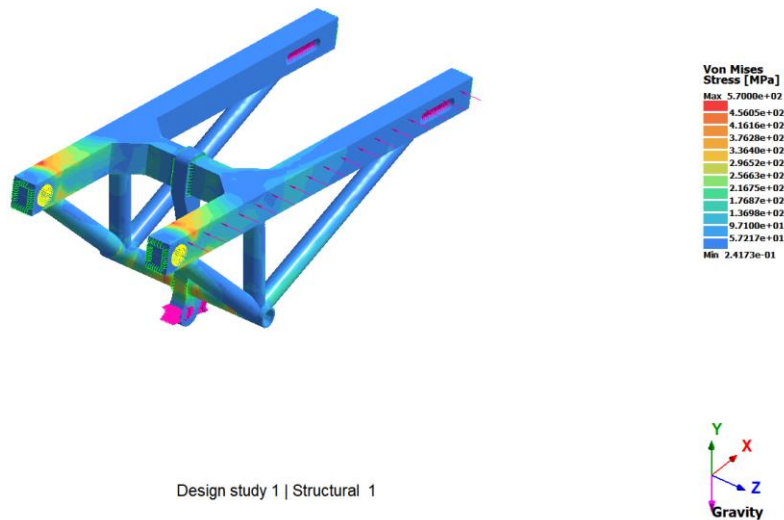
Una vez vistas las piezas que solucionan los problemas planteados anteriormente se procede a ensamblar todo el conjunto del basculante juntamente con todo el sistema para el montaje de la suspensión trasera que permitirá el funcionamiento de las bieletas por tal de absorber todas las irregularidades del terreno por tal de proporcionar una mejor conducción al piloto.



*Ilustración 102 Basculante con el anclaje central para el sistema de bieletas*

Una vez presentado el ensamblaje del basculante con el diseño final se procede a realizar un análisis estructural mediante el método de elementos finitos. Para realizar este análisis se tendrán en cuenta las fuerzas que se generan en el agujero donde va anclada la suspensión trasera, el cual recibe las fuerzas que genera el sistema de bieletas que se pueden encontrar sus resultados en el apartado “4.3.1. Cálculos del sistema de bieletas”. Para llevar a cabo este análisis estructural se utilizará un programa modular del conjunto de programas que ofrece Altair llamado SimSolid. Este programa permite realizar simulaciones de las estructuras sin la necesidad de realizar o crear un mallado en el modelo 3D, por lo que realizar el análisis con este programa permitirá obtener unos resultados mucho más exactos.

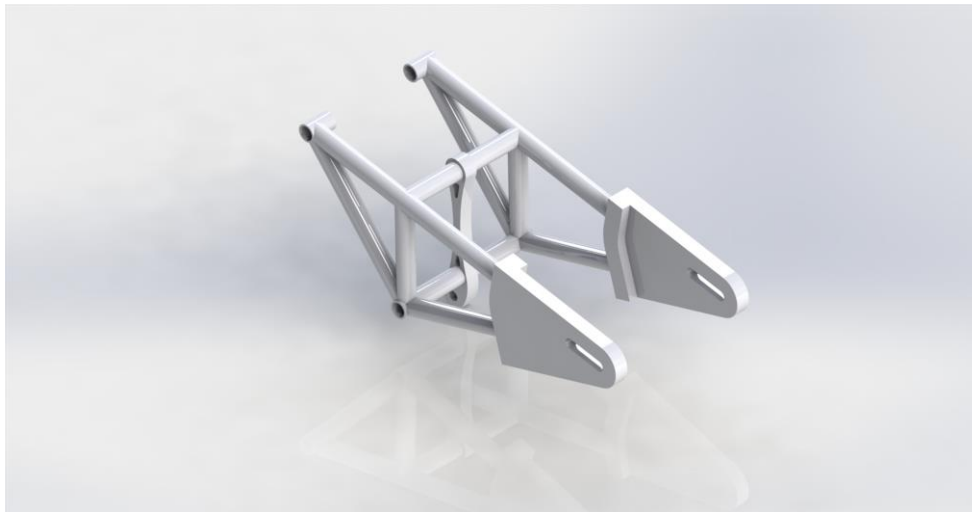
Para llevar a cabo esta simulación se han sobredimensionado las fuerzas que actuarán en este por tal de ver cómo reaccionaría. Se cuenta con una fuerza vertical hacia arriba en la zona

**SIMSOLID**

*Ilustración 103 Resultados de la simulación de tensiones del ensamblaje del basculante*

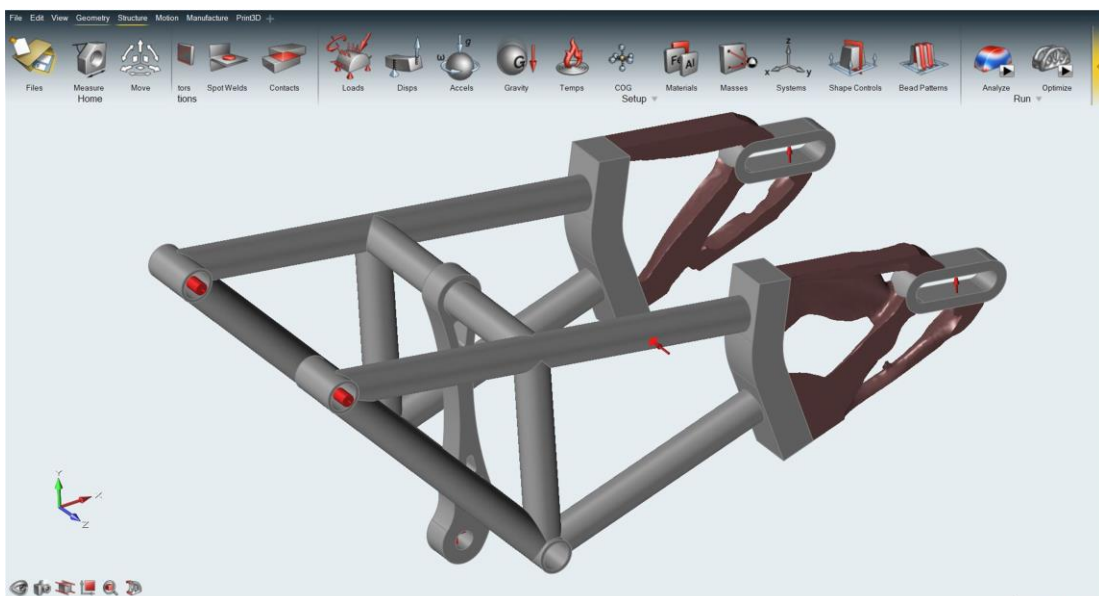
trasera, situada en el coliso de un valor de 5000N, una fuerza lateral de 8000N y las fuerzas de que ejercen las bieletas en el punto de anclaje del basculante de un valor de 15000N en el eje de las “X” y 4000N para el eje de las “Y”.

Como se puede observar en el mapa de tensiones presentado, aún y teniendo las fuerzas redimensionadas al alza, el basculante soporta con creces todas las solicitaciones impuestas ya que en ningún momento se sobrepasa el límite elástico. A la hora de colocar el conjunto entero del basculante al ensamblaje completo de la motocicleta se observan una gran desventaja. Se observa que, en la parte trasera del basculante, a la altura de los colisos, no se tiene espacio suficiente como para que el disco de freno trasero y el soporte de la pinza trasera tengan su espacio para ser colocado. A partir de observar este problema, se decide seguir avanzando con el diseño del basculante y buscar una nueva línea de diseño que permita encontrar la manera de cómo hacer espacio en la parte trasera de la motocicleta para todo el sistema de frenado trasero si hacer un basculante de sección variable que vaya ensanchando su amplitud a medida que avanza hacia la rueda trasera. Teniendo este principal objetivo en mente a la hora de desarrollar un nuevo diseño se llega a la siguiente propuesta.



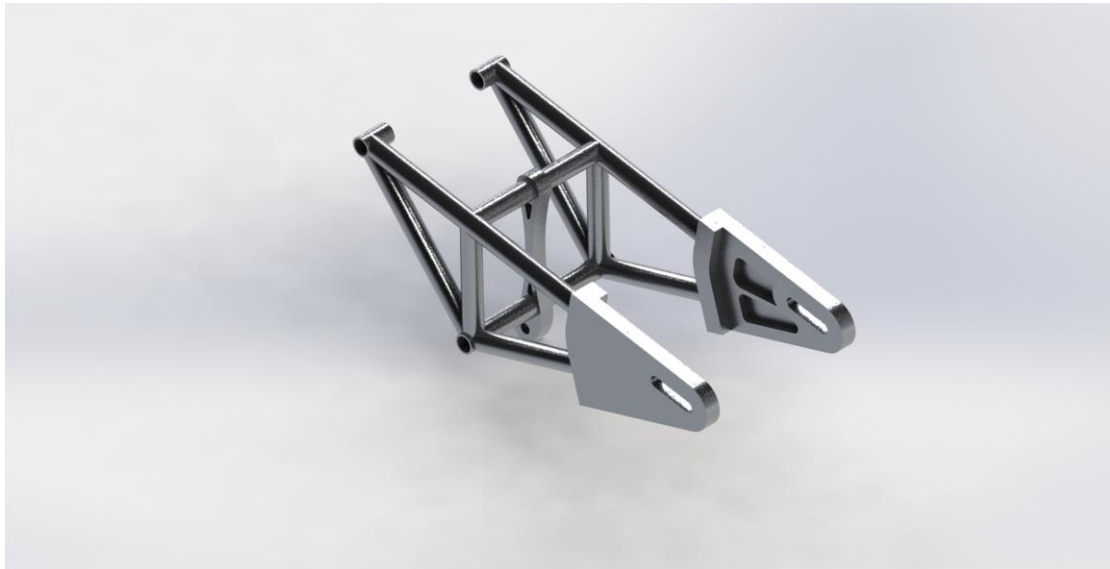
*Ilustración 104 Línea de diseño final del basculante con perfiles normalizados de sección circular*

El basculante está formado por tres partes principales. La primera consta de una estructura de perfiles de sección tubular de aluminio. La segunda, son las dos piezas traseras mecanizadas de aluminio y la última es la pieza que permite el anclaje de la suspensión trasera a la vez que proporciona rigidez estructural. Seguidamente, al observar que la parte trasera contiene demasiado material se baraja la posibilidad de aligerarla, es por ello que se procede a realizar un análisis de optimización de la pieza por tal de observar, según las fuerzas que este a de soportar, cómo se puede llevar a cabo la optimización.



*Ilustración 105 Optimizado de la parte trasera del basculante*

Con el análisis que se ha llevado a cabo se puede observar la cantidad de material que no se considera como necesaria para hacer frente a las solicitaciones que se han planteado que la motocicleta podría presentar. A partir de esto, el programa da a conocer de que zonas del diseño se puede extraer o vaciar la pieza de este material sobrante. Es por esto, que a partir de estos aspectos analizados se realiza un diseño de estas piezas traseras mecanizadas.



*Ilustración 106 Ensamblaje final del basculante con piezas traseras optimizadas*

Al ser este diseño, presentado anteriormente, el diseño final escogido para llevar a cabo se procede a realizar un desglose más detallado de todas las partes que componen el basculante juntamente con el estudio de simulación realizado para cada pieza.

La estructura del chasis por la que se ha optado es la de tubular de tubos de aluminio de aluminio normalizados, concretamente de aluminio 6063 T5, de 25mm de diámetro exterior y de 20mm de diámetro interior. Estos serán comprados y cortados bajo las especificaciones de diseño. Es destacable que los tubos que sirven de unión entre el eje del basculante y el chasis la medida de estos son diferentes a la del resto de tubos los cuales son de 33mm de diámetro exterior y 26 mm de diámetro interior.



Ilustración 107 Estructura tubular del chasis

Para la realización de la simulación de la estructura tubular del basculante, para este caso, se han tenido en cuenta las fuerzas máximas o más críticas a las que puede llegar nuestro basculante, para este en concreto son una fuerza 3000N en el eje de las X, esta es generada en las pruebas estáticas realizadas por la competición, una fuerza hacia arriba de 2000N y las fuerzas generadas por las bieletas de la suspensión trasera que tienen un valor de 10.000N en el eje de las X y -3.000N en el eje de las Y.

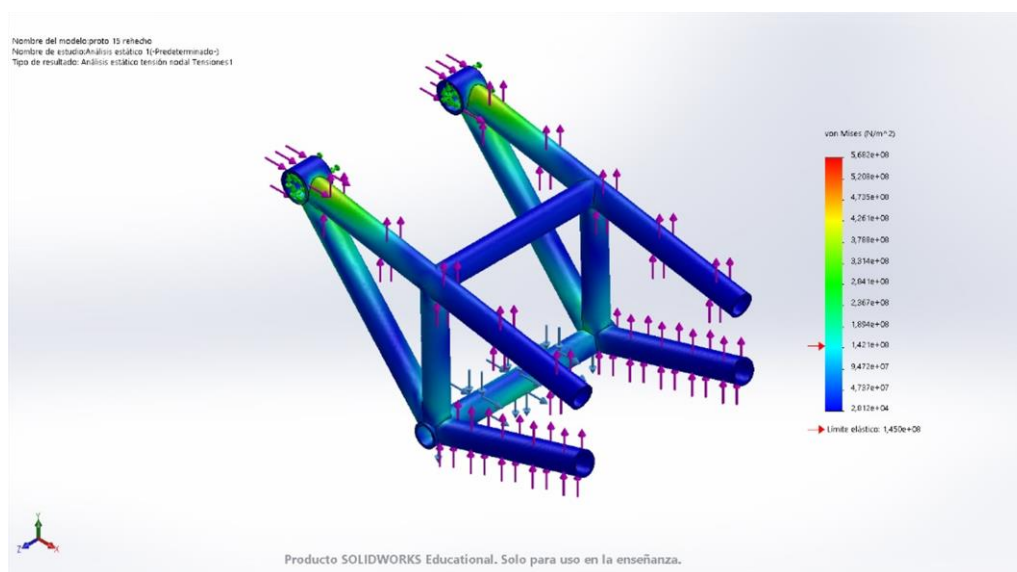


Ilustración 108 Simulación de la estructura tubular del basculante

Cabe destacar que para esta simulación se ha tenido en cuenta que el punto fijo es la unión de los tubos donde alojan el eje del basculante con el chasis, lo que esto no es del todo real ya que ahí se encuentran los rodamientos que permitirán al basculante pivotar. Además, cabe destacar que faltan el resto de las piezas del basculante para que esté presente su rigidez real.

Las piezas traseras del basculante, que son simétricas, serán mecanizadas en aluminio 6063-T6 de 20mm en su espesor mínimo y de 33 mm en su espesor máximo. Estas dos piezas tienen dos alojamientos de 25mm de diámetro para facilitar la colocación de la estructura tubular para su posterior soldadura entre ambos elementos.

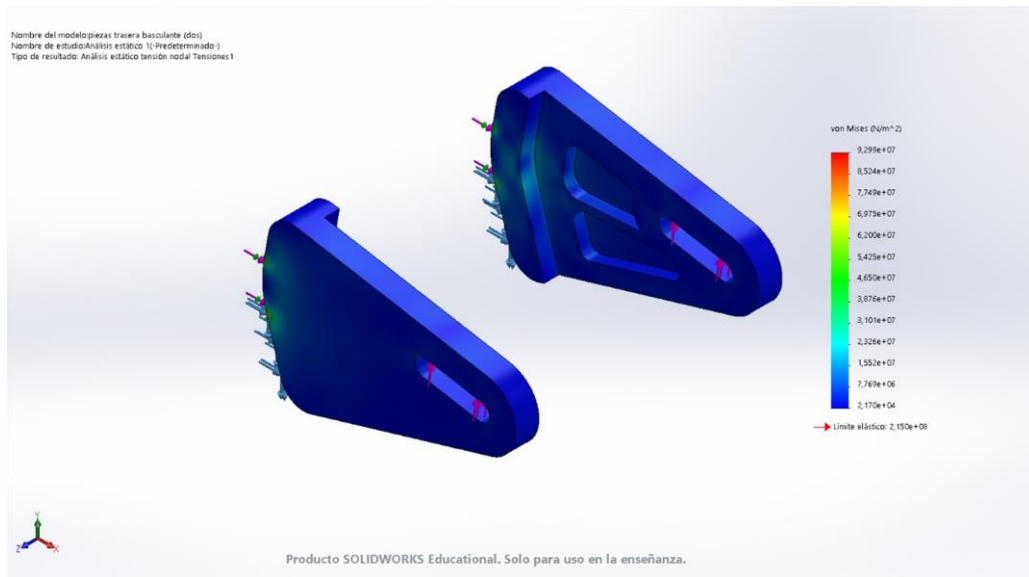
Dichas piezas traseras han sido optimizadas por tal de aligerar peso y que estas sigan dando la rigidez estructural que se precisa para que las fuerzas sean soportadas. Además, estas cuentan con un coliso de 60mm de largo y un diámetro de 15mm.



*Ilustración 109 Piezas traseras del basculante*

Para la realización de la simulación de las piezas traseras del basculante son las utilizadas para la estructura tubular. Las fuerzas usadas son: una fuerza 3000N en el eje de las X, esta es generada en las pruebas estáticas realizadas por la competición, una fuerza hacia arriba de 2000N y las fuerzas generadas por las bieletas de la suspensión trasera que tienen un valor de 10.000N en el eje de las X y -3.000N en el eje de las Y.





*Ilustración 110 Simulación de las piezas traseras del basculante*

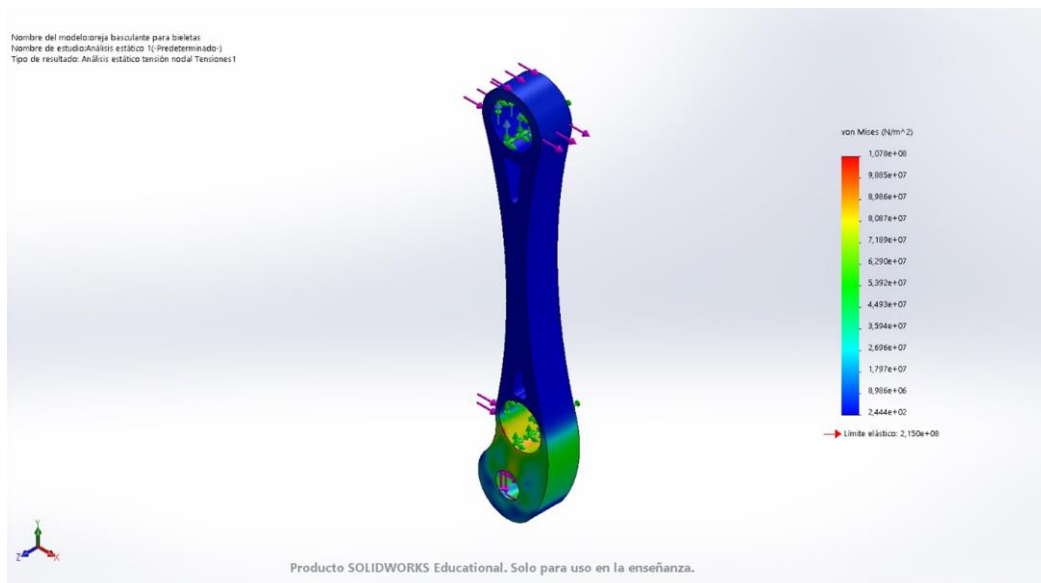
Se puede observar que estas piezas aguantan las fuerzas con creces las fuerzas a las que estas estarán sometidas, según la situación bajo la cual han sido analizadas.

En tercer lugar, se procederá a analizar la última pieza que compone el basculante la cual ha sido diseñada como principal objetivo como método de anclaje de la suspensión del basculante a las bieletas que esta incorpora. Además, se ha diseñado con la finalidad de reforzar la zona central del basculante y darle rigidez estructural ya que en unas primeras versiones de este esta zona era la más crítica. Esta pieza también será mecanizada en aluminio 6063-T6 de un espesor de 19mm de ancho la cual también ha sido optimizada por tal de aligerar peso. Tiene dos perforaciones de diámetro 25mm por donde será soldada a los tubos del basculante y un alojamiento de diámetro 14mm para anclar la suspensión trasera del prototipo.



*Ilustración 111 Pieza de anclaje del sistema de bieletas*

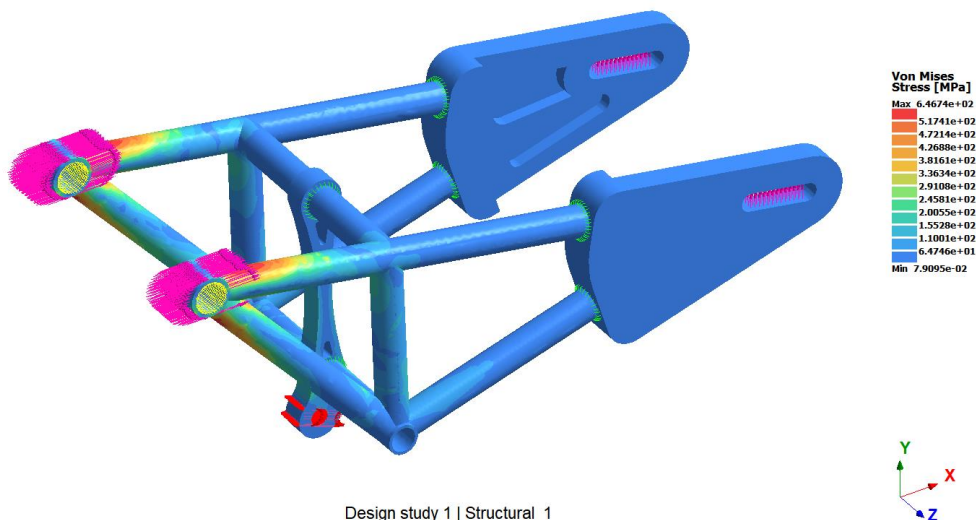
Para la realización de la simulación de esta pieza del basculante se han tenido en cuenta las mismas fuerzas con las que se han analizado el resto de piezas anteriormente, las cuales son: una fuerza 3000N en el eje de las X, generada en las pruebas estáticas realizadas por la competición, un fuerza hacia arriba de 2000N y las fuerzas generadas por las bieletas de la suspensión trasera que tienen un valor de 10.000N en el eje de las X y -3.000N en el eje de las Y. Como resultado del análisis mediante el método de elementos finitos se obtiene lo siguiente.



*Ilustración 112 Simulación de la pieza de anclaje del sistema de bieletas*

Como se observa en la fotografía la barra del anclaje de la suspensión trasera aguanta con muy buenos resultados a las fuerzas a las que esta estará soportada, pero cabe destacar que la perforación inferior de diámetro 25mm no se verá tan deformada como según el diagrama de colores manifiesta ya que esta alojará un perfil circular en su interior lo cual reforzará esa parte del anclaje.

Finalmente, al igual que para todos los diseños que se han realizado a lo largo de este proyecto, para este se procederá a realizar nuevamente una simulación con las fuerzas que este a de soportar. Las fuerzas que se utilizarán para llevar a cabo este serán las mismas que las utilizadas para cada una de las piezas por separado que componen este basculante, y se han expuesto en los puntos anteriores, estas son: una fuerza 3000N en el eje de las X, esta es generada en las pruebas estáticas realizadas por la competición, una fuerza hacia arriba de 2000N y las fuerzas generadas por las bieletas de la suspensión trasera que tienen un valor de 10.000N en el eje de las X y -3.000N en el eje de las Y.

**SIMSOLID**

*Ilustración 113 Resultados de la simulación de tensiones del ensamblaje del basculante*

Al observar los resultados de la simulación se puede observar que el basculante en conjunto aguanta notablemente todas las solicitaciones que se le imponen ya que en ningún momento se sobrepasa el límite elástico. Cabe destacar, nuevamente, que se ha declarado como punto fijo los alojamientos del eje del basculante con el chasis los cuales no se comportaran de esta manera realmente ya que estos contienen rodamientos los cuales permitirán el movimiento de pivote del basculante con respecto al chasis.

En la siguiente imagen se pueden observar los factores de seguridad de todo el ensamblaje los cuales tienen un valor mínimo de 1,25 y máximo de 3 para ambos materiales.

**SIMSOLID**

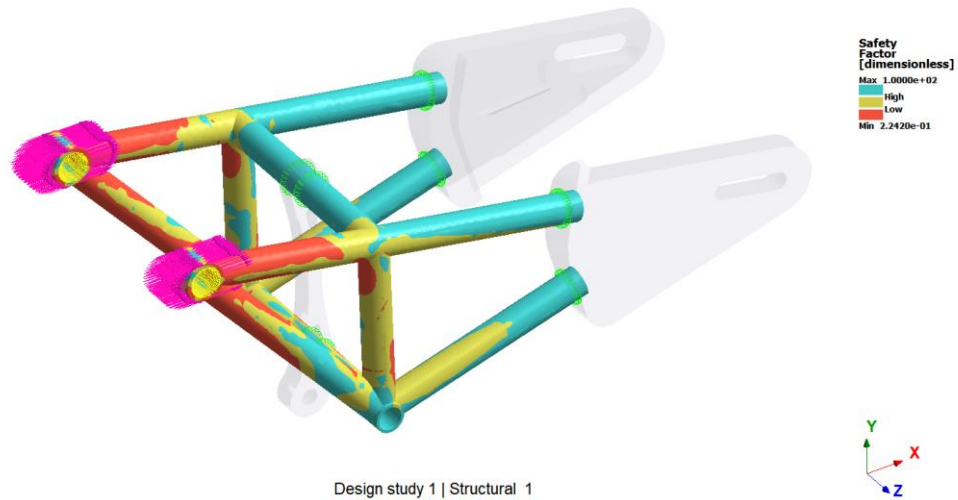


Ilustración 114 Factor de seguridad de la estructura tubular del basculante hechos en aluminio 6063-T5

**SIMSOLID**

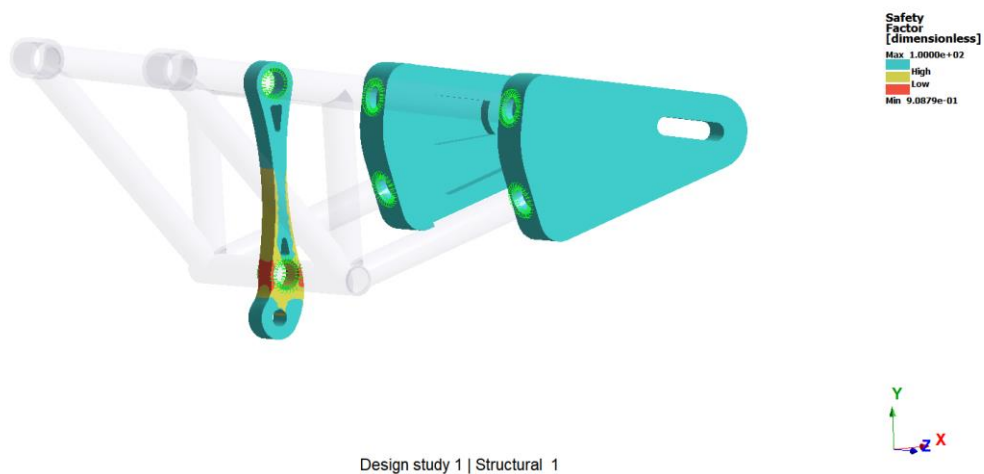


Ilustración 115 Factor de seguridad de la estructura tubular del basculante hechos en aluminio 6063-T6

#### 5.4 Proceso de diseño del carenado

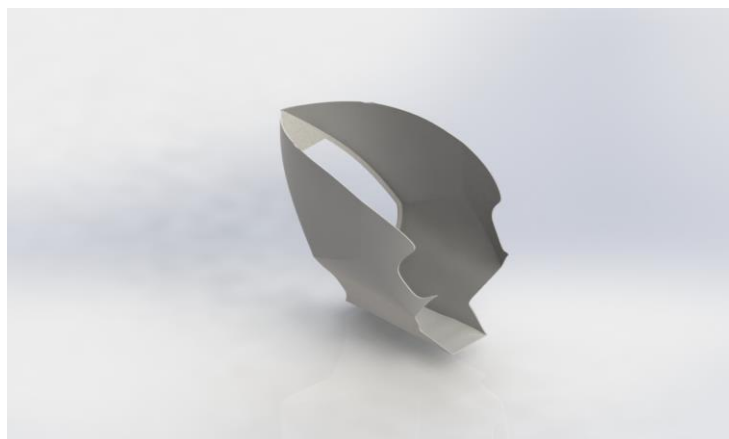
Durante el proceso de diseño se han ido analizando los diseños por tal de observar como se adaptaban estos a la motocicleta y observar si este cumplía con todos los requerimientos y objetivos que se plantean a la vez que observando que estos puedan ser llevados a la realidad.

Uno de los diseños que se han realizado consta de un frontal con una línea de diseño más agresiva y modular, es decir, que esta irá directamente montada sobre el chasis y sobre la cual se acoplarán las partes laterales del carenado, lo que permitirá extraerlas sin necesidad de desmontar la parte frontal también. El diseño se presenta en la siguiente ilustración.



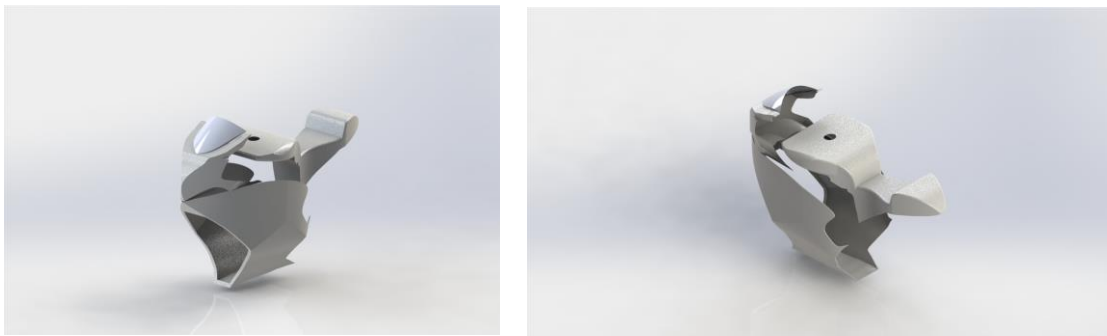
*Ilustración 116 Frontal del carenado, primera propuesta*

Seguidamente se pasó a realizar el diseño de las partes laterales del carenado. En esta se busca un diseño que permita una buena adaptabilidad a la motocicleta y a todos los elementos a los que resguarda.



*Ilustración 118 Lateral del carenado, primera propuesta*

Se puede observar que en la parte delantera de las partes laterales se dispone de un hueco el cual permitirá que el aire circule y refrigere toda la zona del battery pack del cual dispone la motocicleta, donde este cerrará toda la zona abierta delantera haciendo un carenado hermético y que no se produzcan turbulencias en el interior del carenado provocado por una mala reconducción del aire que entre. Una vez diseñadas estas partes se procede a ensamblar todo el conjunto del carenado.

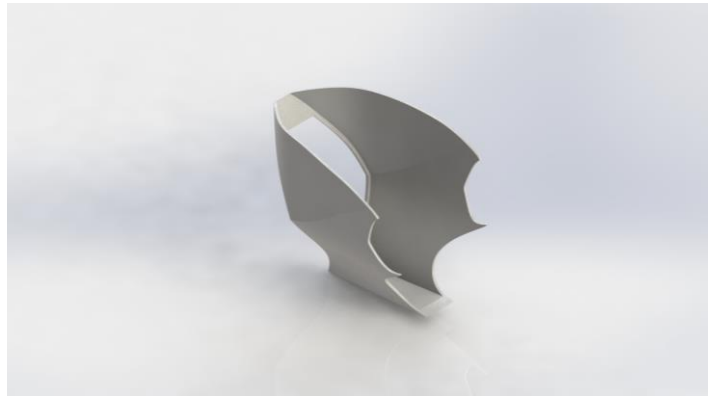


*Ilustración 119 Ensamblaje carenado, primera propuesta*

Se decide seguir evolucionando con el carenado y se crea otro diseño por tal de observar como adaptar el carenado y darle otro aspecto estético a la motocicleta, pero siguiendo la misma línea de diseño. Es por ellos que se crea la siguiente configuración.

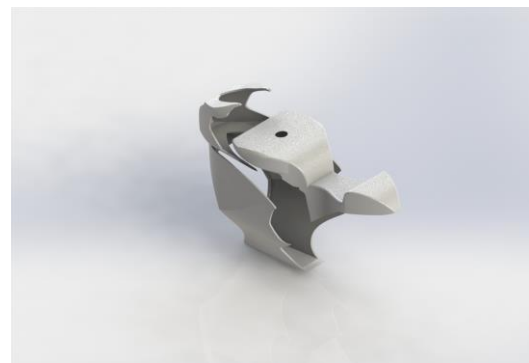
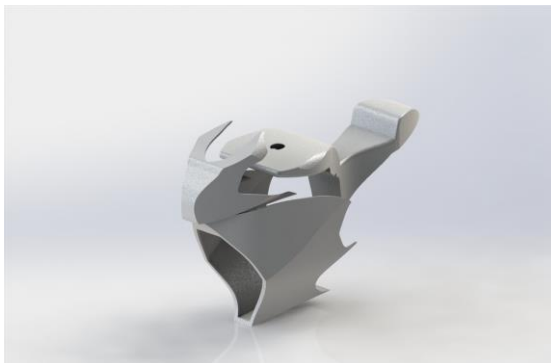


*Ilustración 120 Frontal del carenado, segunda propuesta*



*Ilustración 121 Lateral del carenado, segunda propuesta*

Una vez diseñados, tanto el frontal como los laterales del carenado, del nuevo diseño se procede a realizar un ensamblaje de todo el conjunto.



*Ilustración 122 Ensamblaje carenado, segunda propuesta*

Se pueden observar grandes diferencias en la zona del frontal de la motocicleta, la cual se le ha diseñado con tal de darle otro estilo en cuanto a estética se refiera, ya que este no tiene una geometría de acabo en punto en su frontal, así como la zona de los laterales la cual no contiene tantos cambios de sección. Las partes laterales se pueden observar algo más anchas en su zona más del final debido a que en ese tramo se encuentran tanto el inversor como el BMS, elementos que sobresalen bastante del chasis de la motocicleta.

A continuación, se pueden observar un breve estudio aerodinámico sobre el comportamiento de esta última propuesta del carenado planteada anteriormente. En este se presentarán los gráficos de presión, temperatura y velocidad.

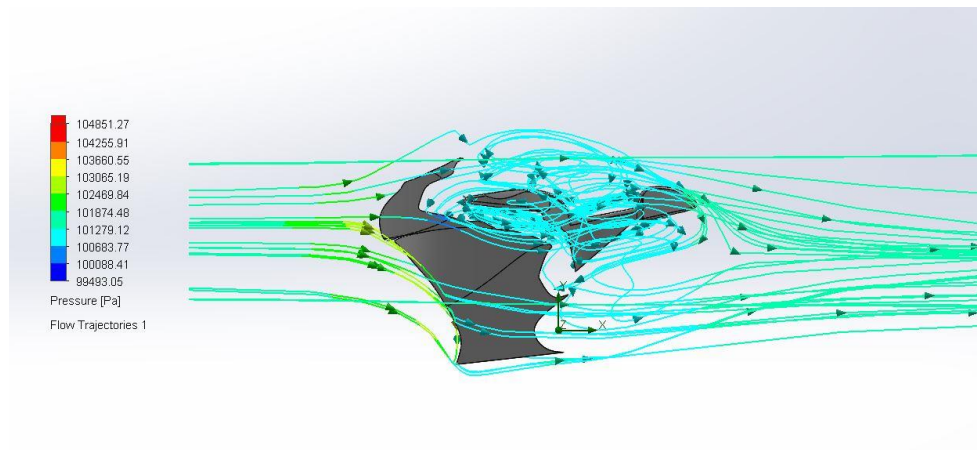


Ilustración 123 Resultados de la presión

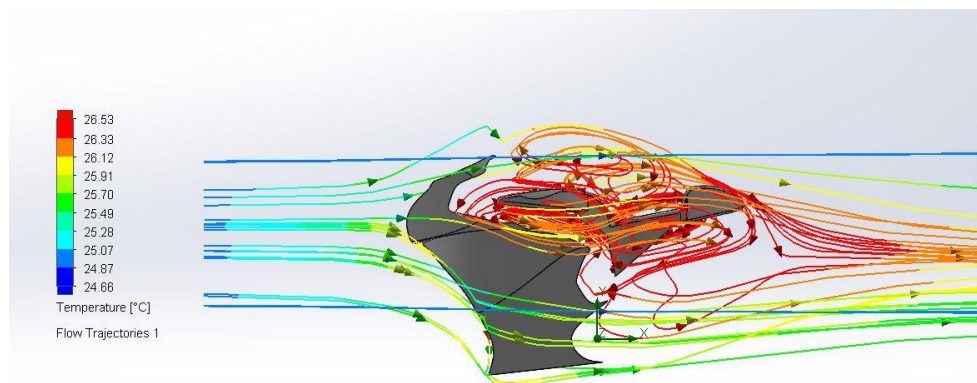


Ilustración 125 Resultados de la temperatura

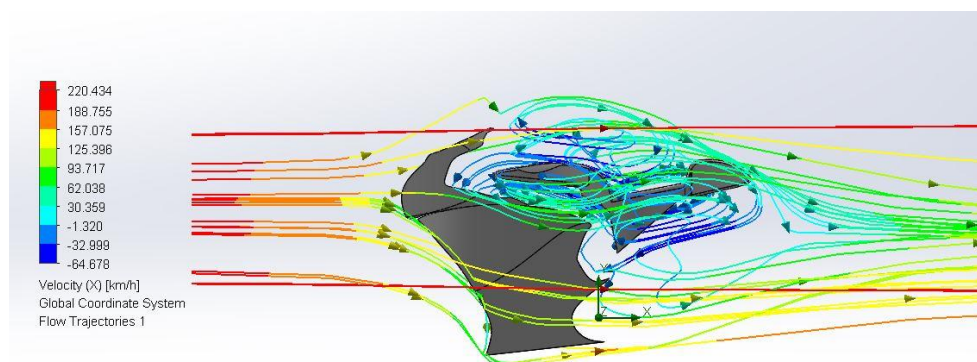


Ilustración 124 Resultados de la velocidad



## 6 Presupuesto

En este apartado del proyecto se expondrán los costes aproximados derivados de la creación de todos los elementos que se presentan a lo largo del proyecto que conforman el bastidor, basculante y carenado de la motocicleta. En el siguiente presupuesto solo se tienen en cuenta los costes derivados de la compra de materiales y su mecanizado o fabricación. Por lo que quedan totalmente excluidos los costes de ingeniería y diseño, gastos de montaje y ensamblaje general del prototipo.

Núm.	Concepto	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
1	Plancha inferior del bastidor de 20mm	1	456€	456€
2	Plancha lateral del bastidor de 15mm	2	309€	618€
3	Plancha lateral del bastidor posterior de 15mm	2	289€	578€
4	Rocker sistema de bieletas	1	50€	50€
5	Link sistema de bieletas	2	20€	40€
6	Estructura tubular basculante	1	175€	175€
7	Piezas traseras basculante	2	80€	160€
8	Pieza anclaje sistema de bieletas	1	30€	30€
9	Moldes Carenados	1	700€	700€
10	Fibra de carbono carenados	1	210€	210€
11	Curado carenados	1	150€	150€
<b>TOTAL</b>				<b>3167€</b>

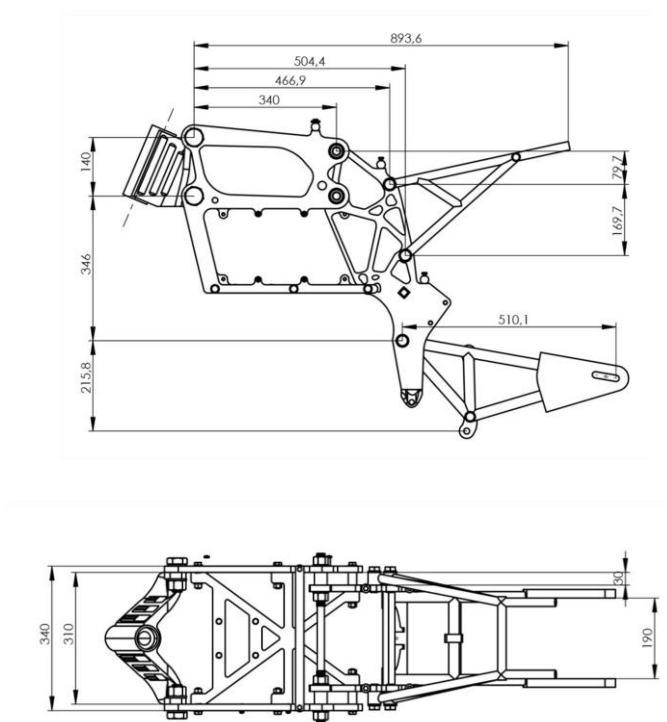
Tabla 7 Tabla de presupuesto

## 7 Pliego de condiciones

En el pliego de condiciones del proyecto se analizarán distintos puntos que se tendrán en cuenta y deberán ser contemplados. Se tratarán las medidas generales, la vida útil de los componentes, presupuesto de los diferentes componentes, especificaciones de los diferentes elementos que conforman el chasis juntamente con el carenado, sobre el transporte de los elementos, los elementos de los cuales serán fabricadas las distintas partes, sobre las condiciones de montaje y advertencias de seguridad.

### 7.1 Medidas generales

Las cotas generales del conjunto adoptan los siguientes valores.



*Ilustración 126 Medidas generales*

Queda totalmente prohibida la modificación de cualquiera de los elementos del bastidor sin una autorización explícita del equipo de MotoSpirit y más específicamente de los departamentos de bastidor, basculante y carenados.

### 7.2 Vida útil

El prototipo diseñado en este proyecto queda diseñado para para la VI edición de MotoStudent para la categoría “electric”. Ha sido diseñada para las pruebas que se realizarán durante los

meses anteriores al evento final y para la competición de MotoStudent donde se incluyen ñas pruebas dinámicas, estáticas y Gymkhana juntamente con la carrera, entrenamientos y clasificación. Más de este evento, el equipo de MotoSpirit y concretamente desde el departamento de bastidor y basculante no asegura o se compromete a un funcionamiento en plenas condiciones y capacidades del prototipo.

### 7.3 Presupuesto

En el presupuesto del proyecto se tiene en cuenta todos los costes que se listan a continuación: costes de materiales, costes de procesos de fabricación, costes de mano de obra de montaje, costes de soldadura y costes de elementos comprados. En este quedan excluidos los costes de ingeniería. Este presupuesto que se presenta puede variar según el proveedor, fabricante y/o mercado.

### 7.4 Especificación de elementos

Para los elementos que forman el chasis juntamente con el carenado de la motocicleta han de cumplir unas normas en cuanto a sus especificaciones donde se diferencian entre los elementos fabricados y comprados, donde estas quedan expuestas a continuación.

#### 7.4.1 Componentes fabricados

Todos aquellos elementos fabricados por los diferentes contratistas deberán cumplir todas aquellas propiedades indicadas en el proyecto y aquellas que se indican en los anexos de este dónde se pueden encontrar las especificaciones de producción, tolerancias, acabados superficiales y dimensiones.

#### 7.4.2 Componentes comprados

Todos los elementos que hayan sido comprados o adquiridos mediante donaciones de terceros deberán reunir las características de catálogo sin que se pueda reducir las propiedades de estos y cumplan con todos los requerimientos que se necesiten.

### 7.5 Transporte

Cualquier elemento que pueda transportarse, ya sea el bastidor acabado o piezas en proceso de fabricación, deberá ser trasladado de forma individual y protegidos con los medios necesarios.

En caso de que durante el transporte algún elemento sufra algún daño, este deberá ser reemplazado de forma inmediata por uno de características idénticas.

## 7.6 Materiales

Para la realización del bastidor se utilizará aluminio 7075-T6 para las piezas que no hagan falta una soldadura posterior, en cambio, si en la pieza es necesario aplicar una soldadura para la unión de algunos elementos se utilizará aluminio 6063-T6. Para el basculante se comprarán tubos de aluminio normalizados comprados de aluminio 6063-T5 de 25mm de diámetro exterior y 20mm de diámetro interior. Para las piezas traseras del basculante se utilizará aluminio 6063-T6. Por último, para la fabricación del carenado de la motocicleta se utilizará, en caso de que esto sea posible, fibra de carbono donde también se pueden contemplar otras opciones como la fibra de vidrio.

Todos los materiales con los que finalmente se realicen las piezas finalmente pueden quedar sujetas a cambios siempre y cuando se lleve a cabo un análisis exhaustivo por tal de observar que ese cambio puede ser válido por tal de mejorar las condiciones actuales del prototipo. También se expone que en el caso de que la empresa distribuidora del material no cumpla con las especificaciones de catálogo que presenta, deberá reemplazar el material por uno el cual cumpla con todos y cada uno de los requisitos y asegure su completo funcionamiento.

## 7.7 Condiciones de montaje

Se deberán cumplir las tolerancias especificadas en los planos de fabricación por tal de obtener el diseño realizado. Es imprescindible que el operario o los operarios que se encarguen del proceso de preparación del corte láser sean conocedores de todo el proceso para que este se lleve a cabo sin problemas. También, será imprescindible que por tal de obtener un chasis apto la soldadura que se realice en este ha de ser óptima por tal de asegurar un correcto funcionamiento donde el operario ha de ser conocedor de las técnicas de soldadura para el aluminio en cuestión.

En caso de que algún elemento sufra algún tipo de daño durante alguno de los procesos de fabricación o alguna etapa de montaje este deberá ser substituido por uno de características idénticas sin contemplar la reparación inmediata como una opción.

## 7.8 Advertencias de seguridad

Todos los componentes que se presentan en el proyecto han sido diseñados para su uso en competición, es decir, en un circuito cerrado de asfalto. Tanto el bastidor, basculante y carenado no está diseñado para otros, aunque estos sean del sector del motociclismo. Tampoco está preparado para que se realicen modificaciones del resto de elementos del prototipo, como



podría ser un motor de mayor potencia, ya que todo el prototipo ha sido diseñado en base a todos los elementos, componentes y situaciones expuestas en el proyecto.

El prototipo en ningún caso consta de homologación para poder circular de forma segura por la vía sin expreso permiso de la autoridad competente.

## 8 Impacto medioambiental

El impacto ambiental que supondrá la realización de todas y cada una de las piezas diseñadas en este proyecto es algo que ha de tenerse en cuenta, es por eso que se tratará este impacto en diferentes ámbitos y aspectos como se ocasiona durante la fase de diseño, evaluar el tipo de material que se utilizará y su impacto medioambiental, durante su fase de construcción, su explotación y desmantelamiento.

### 8.1 Fase de diseño

Durante la fase diseño puede decirse que el impacto ambiental no fue un aspecto destacable a tener en cuenta. El objetivo principal de MotoStudent es que los diferentes equipos desarrollen para una posterior fabricación de un prototipo de competición. Desde la competición se evaluará la evolución del diseño y proyecto industrial y por otro lado el comportamiento dinámico de este durante la carrera, aunque la propia competición no evalúa el impacto ecológico que este pueda tener durante su desarrollo.

Todo este proyecto queda enfocado a la fabricación de un único prototipo, es decir un único ejemplar del bastidor, basculante y carenado. En el caso que se tuviera que industrializar todo el proceso por tal de producir más ejemplares de los componentes se tendrá que realizar un estudio previo de cada una de las piezas a fabricar por tal de observar posibles cambios de diseño para favorecer este aspecto. Además, sería conveniente realizar un estudio de fatiga por tal de ver el tiempo que aguantan las piezas tal y como se han desarrollado en el proyecto y en base a esos resultados analizar si es conveniente realizar algunos cambios.

### 8.2 Evaluación ambiental piezas de aluminio

El equipo de MotoSpirit ha realizado el presente estudio dirigido a los departamentos encargados del diseño y fabricación del chasis, los cuales tienen aluminio como principal material el aluminio.

La extracción del aluminio tiene numerosos problemas de impacto ambiental tales como las grandes emisiones de CO<sub>2</sub> que se derivan de su producción y la emisión de partículas con alto contenido de FFC, emisiones que contribuyen al efecto invernadero. La producción de aluminio nuevo supone un gran consumo energético, se podría decir que es uno de los procesos industriales más contaminantes, ya que para obtener una sola tonelada de aluminio se necesitan 15.000 kWh en forma de calor y corriente eléctrica para los procesos de purificación, cantidad de energía tres veces superior a la empleada en fabricar 1 tonelada de acero.

En cambio, el aluminio es 100% reciclable sin que se produzca una reducción de sus propiedades y su recuperación por medio del reciclaje se ha convertido en una faceta importante de la industria del aluminio. El proceso de reciclaje del aluminio necesita poca energía, es decir, el proceso de refundido del aluminio solamente supone un 5% de la energía necesaria para producir el metal primario inicial.

El aluminio reciclado se le conoce como aluminio secundario, pero este mantiene las mismas propiedades que el aluminio primario. La fundición de aluminio secundario implica su producción a partir de productos usados de dicho metal, los que son procesados para recuperar metales por pretratamiento, fundición y refinado.

### 8.3 Fase de fabricación

Durante la fase de fabricación se analizarán dos aspectos a tener en cuenta los cuales son el minimizado de residuos y su tratamiento, ya que durante el proceso de fabricación es inevitable obtener residuos del material.

#### 8.3.1 Minimizado de residuos

Desde el equipo de MotoSpirit se pretende minimizar los residuos producidos durante la fabricación. Hoy en día se tiene muy en cuenta el medioambiente y el tener conciencia de este es por ese motivo por el cual se apuesta por minimizar los residuos que se generen. Por otro lado, cabe destacar que el equipo costeará todos los gastos de fabricación por lo que optimizar las piezas y reducir los residuos puede aumentar el aprovechamiento de la materia prima.

#### 8.3.2 Tratamiento de los residuos

El proceso de fabricación será realizado en entidades y empresas especializadas en el uso de los materiales a manipular, por lo que la gestión de residuos quedará a cargo de cada una de las entidades encargadas de llevar a cabo su realización, estas ya disponen de una gestión de los residuos donde MotoSpirit se asegurará que estas entidades lleven a cabo un reciclaje del aluminio.

### 8.4 Fase de explotación

En el contexto que alcanza este proyecto, el bastidor, basculante y carenados no generarán residuos durante todo el tiempo de su vida útil.

### 8.5 Fase de desmantelamiento

En el caso que se tuviera que realizar un desmantelamiento del prototipo sería algo costoso debido a los cordones de soldadura que se aplicarán al bastidor por tal de garantizar su rigidez



estructural, pero aún y así esto no impide que se pueda llevar a cabo un reciclaje de todo el aluminio utilizado para la fabricación del chasis. A pesar de ello no se considera que haya un desmantelamiento ya que el bastidor fabricado será propiedad del equipo de MotoSpirit con el objetivo de su utilización en la docencia, ya sea para mejorarlo o estudiarlo.



## 9 Conclusiones

Las motocicletas son vehículos que quizá a simple vista pueden resultar vehículos más sencillos en comparación a los automóviles, pero no lo resultan en absoluto. En el mundo de las motocicletas hay mucho arte y mucha ciencia en ellas, puede decirse que en cada detalle que compone o da forma a la motocicleta puede llevarse a estudio, análisis, diseño, elección del material y su método de fabricación más correctos según el uso que se le vaya a dar este.

En este proyecto se ha querido plasmar todo el proceso de diseño que se ha llevado a cabo para la realización final de el bastidor, basculante y carenado de la motocicleta, desde un estudio del arte de las respectivas partes a realizar y presentar las bases sobre las que se basarán los diseños. Seguidamente se han presentado los datos de partida generales y específicos de cada uno de los departamentos para posteriormente realizar el diseño y analizar la evolución y cambios que estos iban adoptando. Analizados los resultados de las diferentes partes realizadas en le proyecto puede decirse que los diseños presentados cumplen todas sus funciones al completo y los objetivos mediante los cuales han sido diseñados. Es posible contemplar una mejora en estas si se realizada aún más un estudio más profundo y mucho más estricto y exhaustivo dónde es posible que se lleguen a nuevas optimizaciones de diseño de las piezas e incluso provocando una mejoría de comportamiento del prototipo. Actualmente hasta llevar a cabo la competición de MotoStudent 2021 el carenado continúa en fase optimización por tal de ajustar cada vez mucho más el comportamiento aerodinámico de este por tal de diferenciar a MotoSpirit respecte al resto de equipos de la competición.

Este proyecto ha permitido a su autor comprender en profundidad los mecanismos que determinan el comportamiento de la motocicleta, así como su geometría y dimensionamiento y el grado de influencia de cada uno de estos. También ha permitido a su autor, mediante el uso de herramientas de diseño CAD y optimización de estructuras su habituación a estos entornos de trabajo y análisis, aprender y comprender el funcionamiento de herramientas de simulación.

## 10 Líneas futuras

A corto plazo del proyecto se seguiría contemplando, analizando y optimizando el carenado de la motocicleta por tal de obtener un mejor comportamiento aún del carenado y aerodinámica de la motocicleta. A su vez se procedería con la materialización del bastidor y basculante mediante su fabricación para en cuanto sea posible llevar a cabo el inicio del testeo del prototipo expuesto meses antes de la competición para tener una puesta a punto de este óptima. Además, para una mejor realización del carenado se realizará un análisis aerodinámico del carenado mucho más profundo y exhaustivo por tal de obtener unos resultados óptimos para el comportamiento de la motocicleta y facilidad el manejo al piloto.

Para la competición es posible que se disponga de un sistema de telemetría instalado en la motocicleta por tal de probar un prototipo de instalación de telemetría de un patrocinador del equipo a partir del cual se podrán obtener datos durante los diferentes puntos del circuito y a lo largo de su funcionamiento. Gracias a esto se podrá valorar de una manera más cualitativa el prototipo y observar que puntos fuertes y puntos débiles se obtienen del prototipo y dónde mejorar. Estos datos permitirán diseñar con más exactitud en qué dirección y sobre qué elementos deberá centrarse en las siguientes ediciones de MotoSpirit en su participación en MotoStudent.

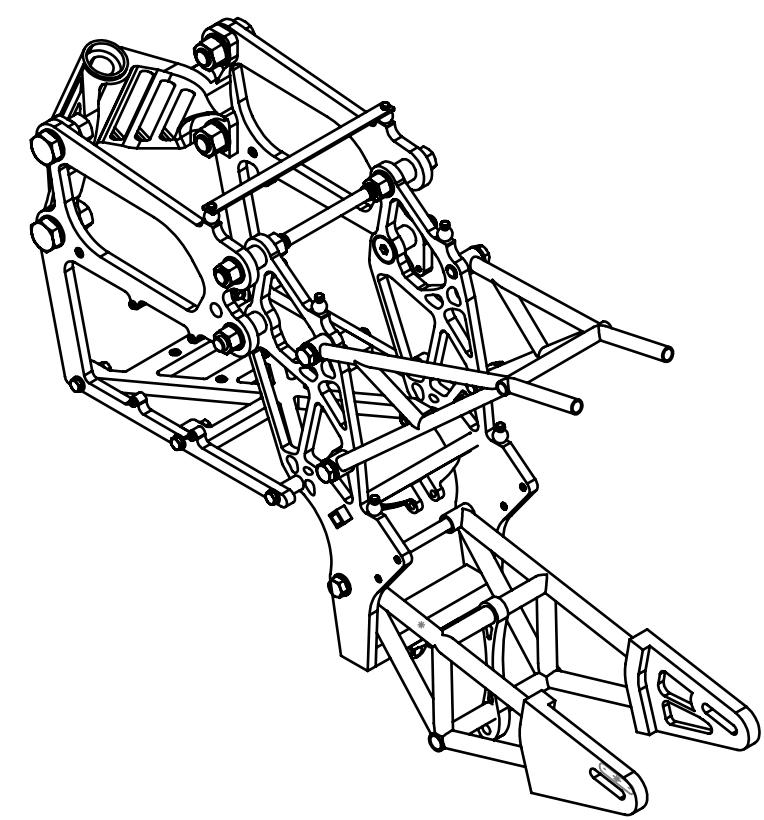
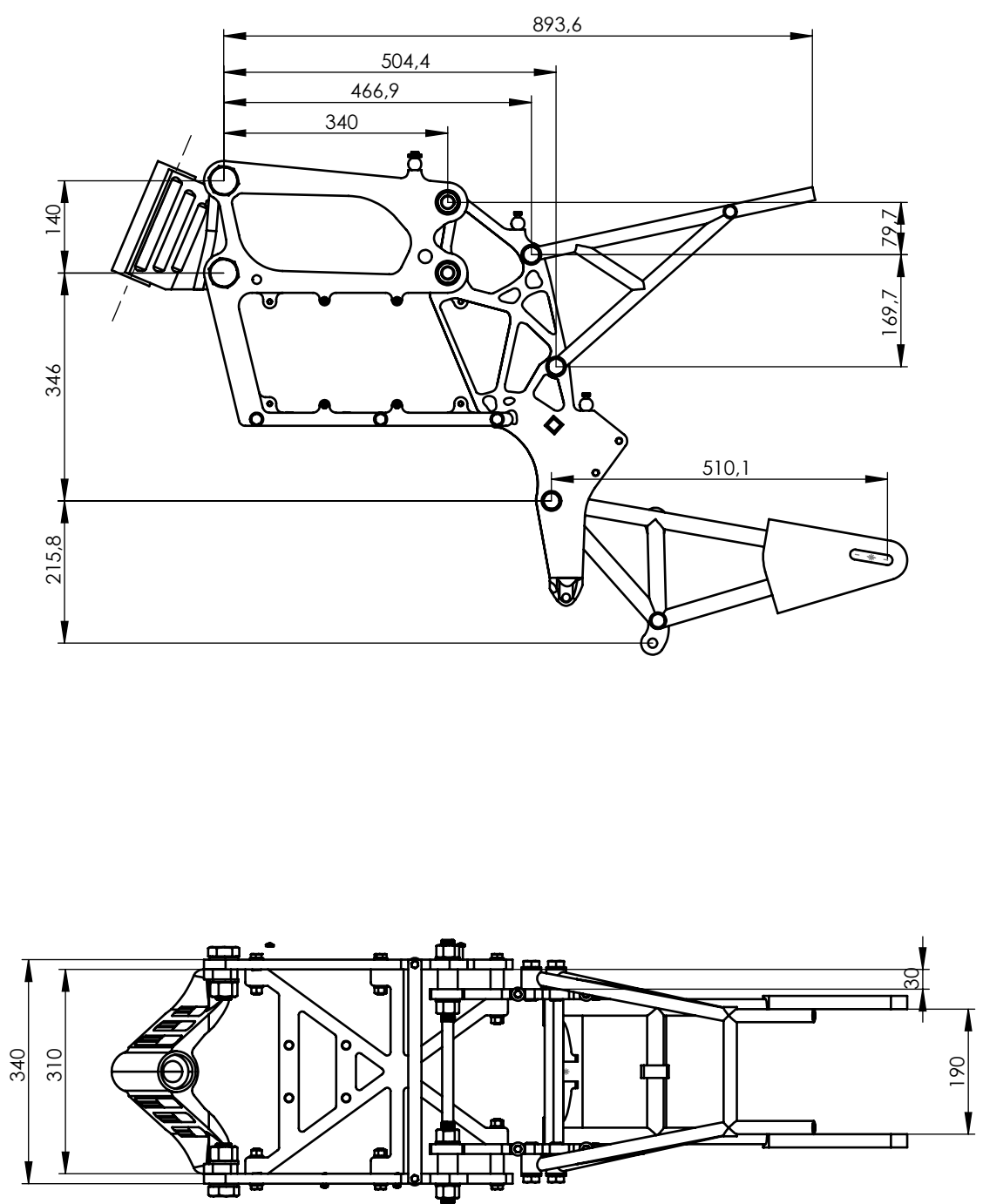
## 11 Bibliografía

- [1] MotoStudent, “MotoStudent | Home.” <http://www.motostudent.com/> .
- [2] M. 1Pro, “Tipos de chasis de moto: El esqueleto de la moto | Moto1Pro.” <https://www.moto1pro.com/reportajes-motos/chasis-el-esqueleto-de-la-moto>.
- [3] “Historia de la motocicleta: orígenes, evolución y tipos.” <http://www.espiriturider.com/index.php/tips-biker/motorcycles/39-historia-de-la-motocicleta-origenes-evolucion-y-tipos>.
- [4] andi mas pais, “Motocicletas,” *Cifras De Sector*. p. 10, 2018, [Online]. Available: [http://www.andi.com.co/Uploads/INFORME DE MOTOCICLETAS A MARZO DE 2018 - FINAL\\_636588881445447436.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/INFORME DE MOTOCICLETAS A MARZO DE 2018 - FINAL_636588881445447436.pdf).
- [5] “Motochassis Introduction » Motochassis by Tony Foale.” <https://motochassis.com/> .
- [6] C. Rosi, L. Tutora, R. Cotutor, and D. Alcal, “Una Motocicleta De Competición . Índice :,” 2016.
- [7] E. Maffia, “Estructura y propiedades de las aleaciones - Aluminio y sus aleaciones,” *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, vol. 200, no. 2, pp. 595–602, 2013, doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.09.044.

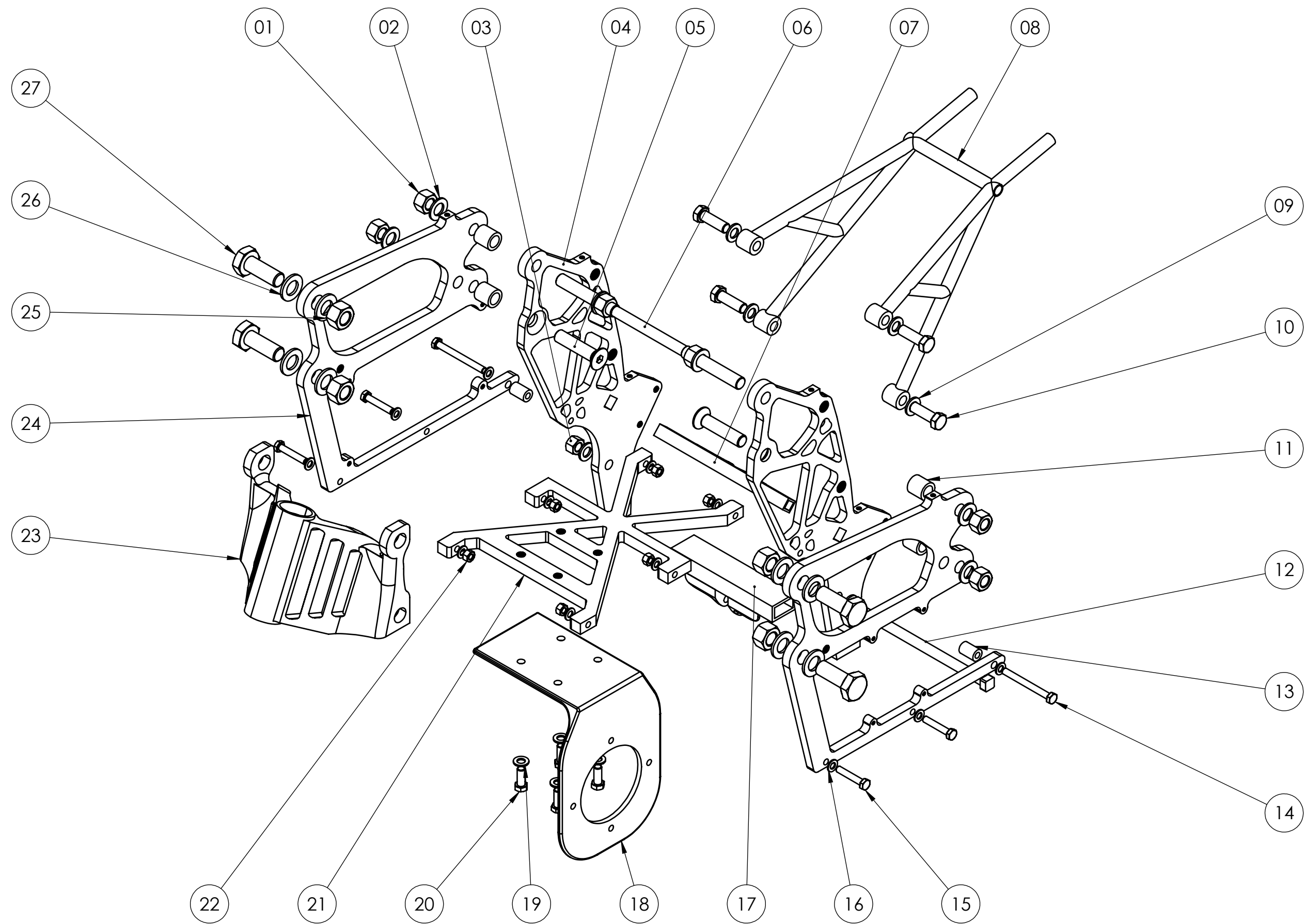


## 12 Anexos

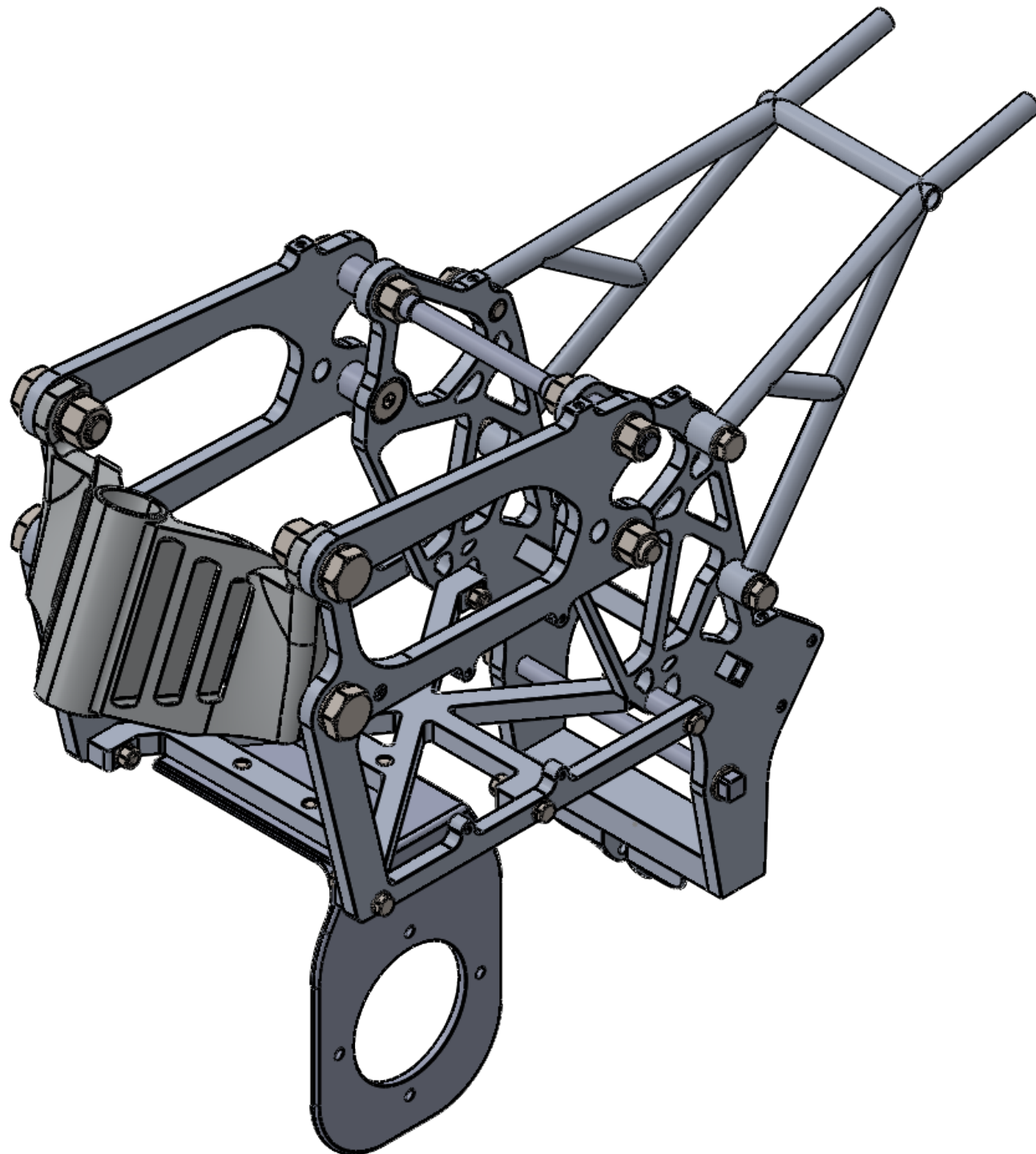
### 12.1 Planos de las piezas diseñadas



	Departamento:	Bastidor/Basculante	A3	Nivel de Pieza:	
	Denominación plano:  Plano medidas generales			BB.PL.01Medidas Generales	
				Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m	
	Código plano:	BB.PL_Medidas Generales		Escala:	1 : 10



	Departamento:	BASTIDOR/BASCULANTE	A3	Nivel de Pieza:	
	Denominación plano:			BB.PL.01DES_BAST	
				Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m	
	Código plano:			BB.PL_DESPIECEBASTIDOR	Escala:
				1 : 6	23/04/2020



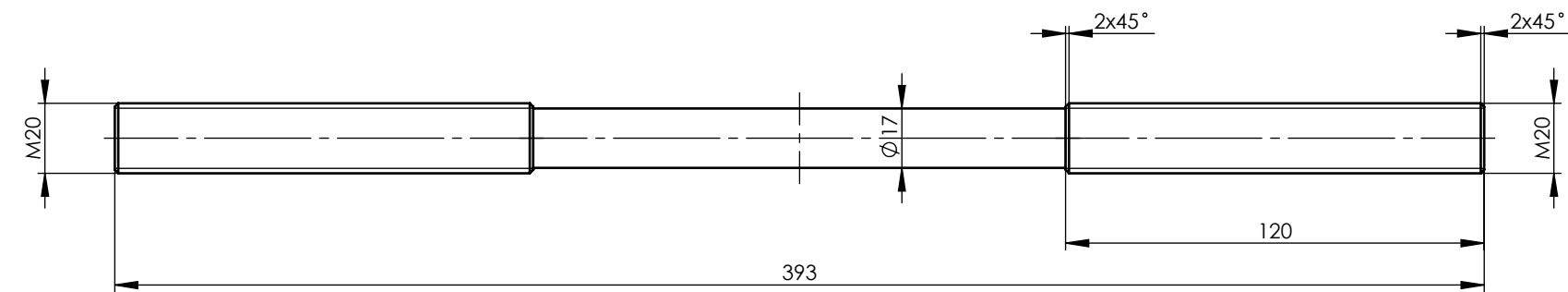
27	Tornillo cabeza hexagonal M24x65	4	ISO 4031	Acero Aleado
26	Arandela $\varnothing$ 24	8	ISO 7089	Acero Aleado
25	Tuerca hexagonal M24	4	ISO 4031	Acero Aleado
24	Bastidor lateral	2		Aluminio 6063 T6
23	Pipa	1		Aluminio 7075 T6
22	Tuerca hexagonal M10	6	ISO 4031	Acero Aleado
21	Plancha bastidor	1		Aluminio 6063 T6
20	Tornillo cabeza hexagonal M12x30	4	ISO 4031	Acero Aleado
19	Arandela $\varnothing$ 12	4	ISO 7089	Acero Aleado
18	Soporte motor	1		Fibra de carbono
17	Viga rectangular	1		Acero Aleado
16	Arandela $\varnothing$ 10	12	ISO 7089	Acero Aleado
15	Tornillo cabeza hexagonal M10x55	4	ISO 4031	Acero Aleado
14	Tornillo cabeza hexagonal M10x100	2	ISO 4031	Acero Aleado
13	Casquillo bastidor inferior	2		Aluminio 6063 T6
12	Eje basculante	1		Acero Aleado
11	Casquillo bastidor	4		Aluminio 6063 T6
10	Arandela $\varnothing$ 16	6	ISO 7089	Acero Aleado
09	Tornillo Hexagonal M16x50	4	ISO 4031	Acero Aleado
08	Subchasis	1		Aluminio 6063 T6
07	Eje cuadrado	1		Aluminio 6063 T6
06	Eje bastidor	1		Aluminio 6063 T6
05	Tornillo cabeza avellanada M20x90	2	ISO10642	Acero Aleado
04	Bastidor posterior	2		Aluminio 6063 T6
03	Tuerca Hexagonal M16	4	ISO 4031	Acero Aleado
02	Arandela $\varnothing$ 20	6	ISO 7089	Acero Aleado
01	Tuerca hexagonal M20	6	ISO 4031	Acero Aleado

Marca	Denominación	Cantidad	Norma	Material
-------	--------------	----------	-------	----------



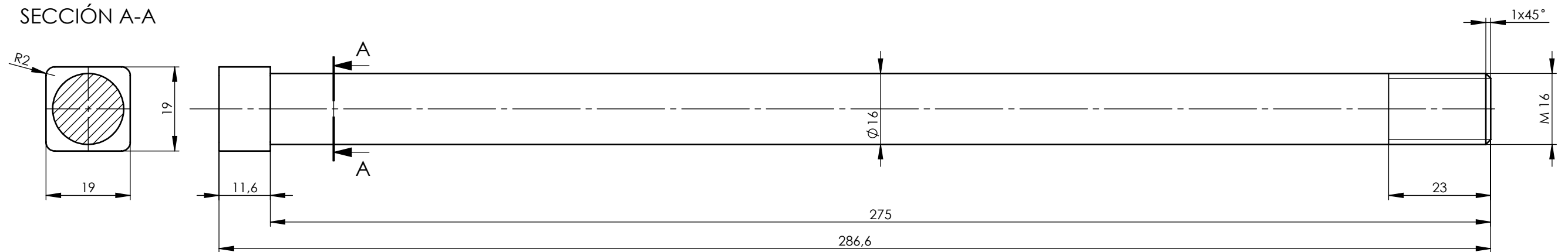
Departamento: BASTIDOR/BASCULANTE	A3	Nivel de Pieza: BB.PL.02L_DES_BAST
Denominación plano: <b>LISTA DE DESPIECE BASTIDOR</b>	Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m	Fecha: 23/04/2020
Código plano: BB.PL_LISTADESPIECEBASTIDOR	Escala: 1 : 5	

06

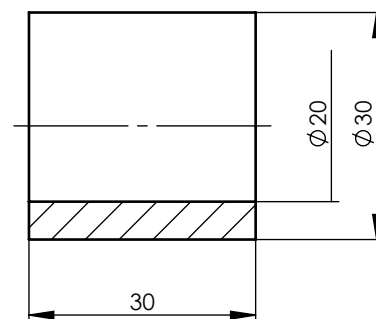


12

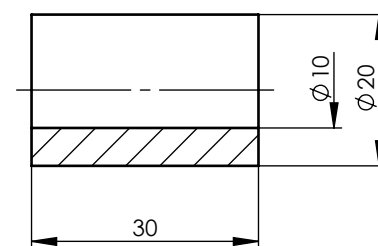
SECCIÓN A-A




11

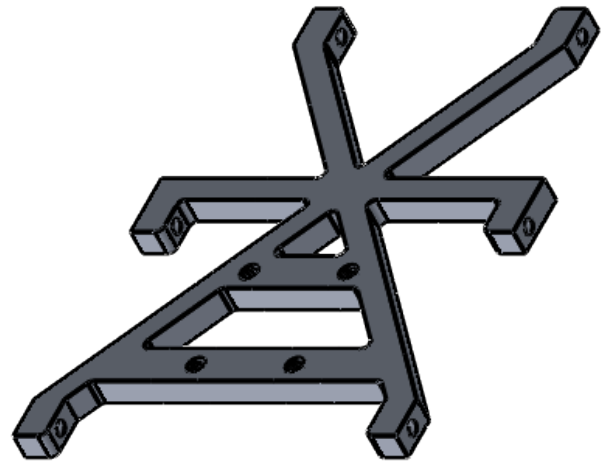
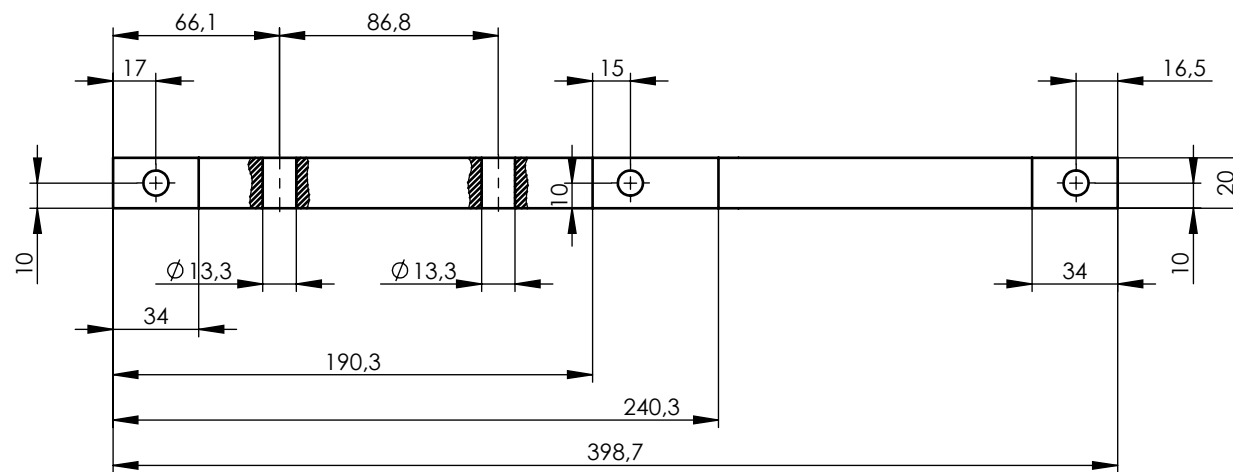
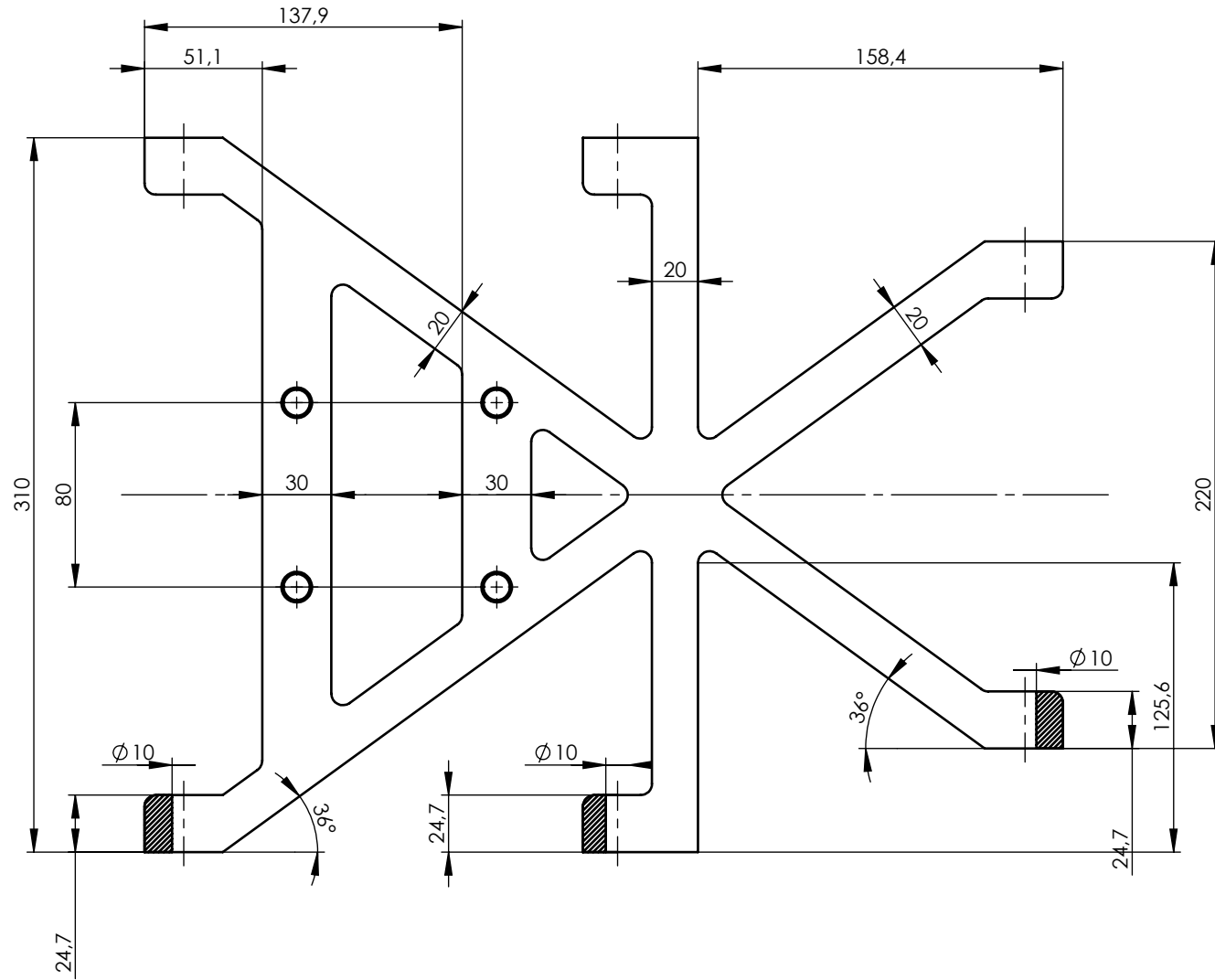


13



13	Casquillo bastidor inferior	1:1
12	Eje basculante	1:1
11	Casquillo bastidor	1:1
06	Eje bastidor	1:2
Marca	Denominación	Escala
	Departamento: BASTIDOR/BASCULANTE	A3 Nivel de Pieza: BB.PL.03_PIEZAS_06_11_12_13
	Denominación plano: PLANOS PIEZAS 06,11,12,13	
	Código plano: BB.PL_06_11_12_13	Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m Escala: Fecha: 24/04/2020





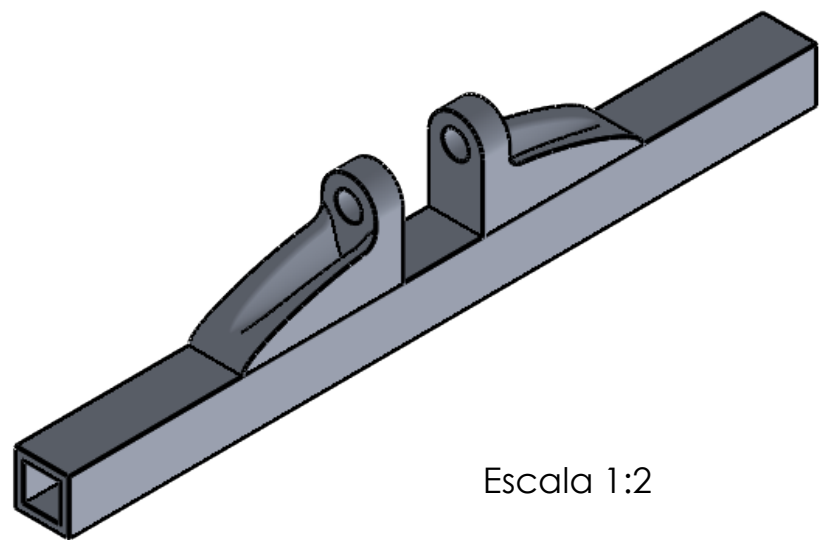
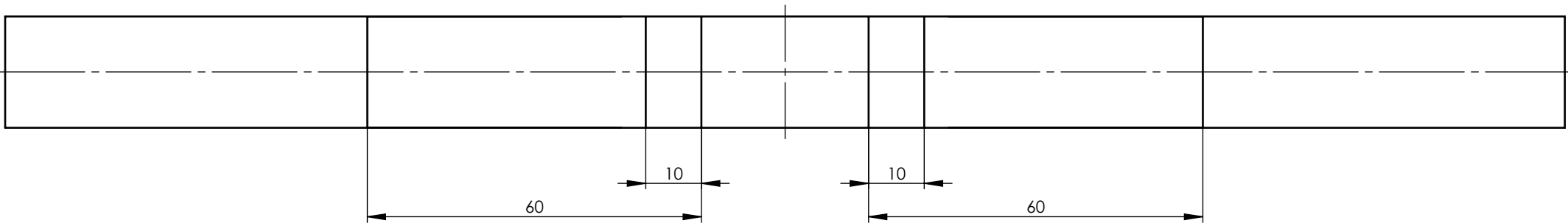
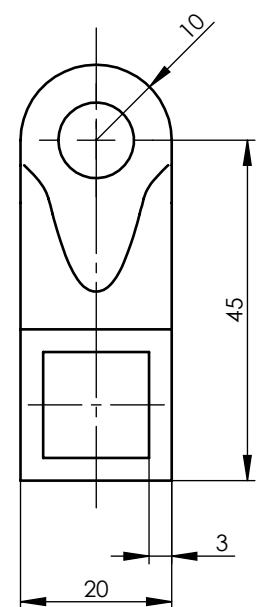
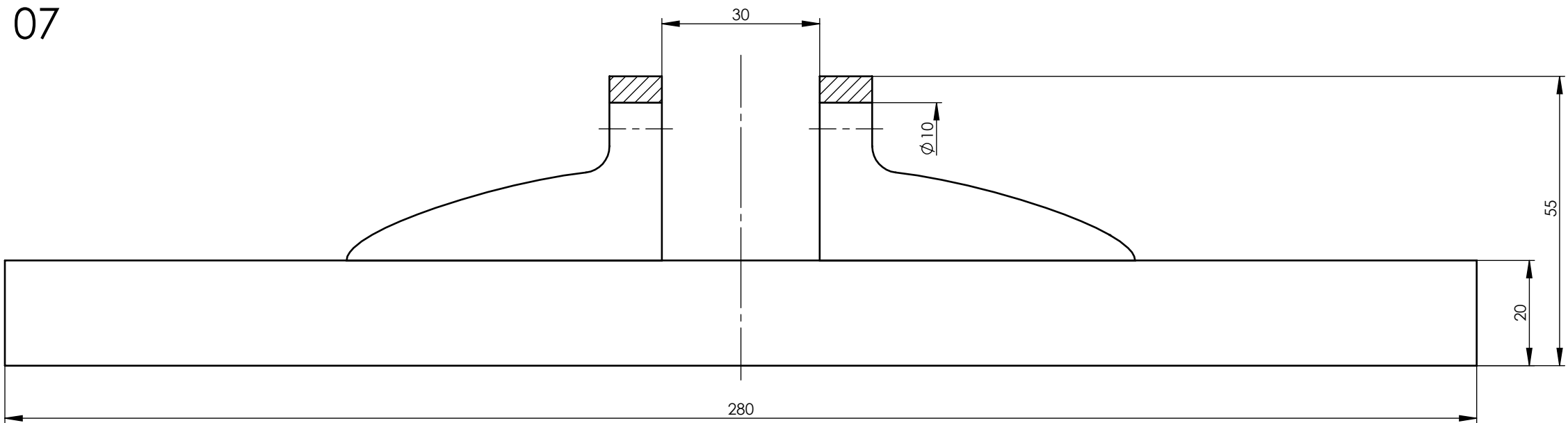
Escala 1:5

Nota: todos los radios no acotados son  $R=5$



Departamento: BASTIDOR/BASCULANTE		A3	Nivel de Pieza:  BB.PL.05PLANCHA_BASTIDOR	
Denominación plano:  PLANO PLANCHA BASTIDOR			Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m	
			Escala:  1 : 3	Fecha:  24/04/2020
Código plano: BB.PL_PLANCHA_BASTIDOR				

07

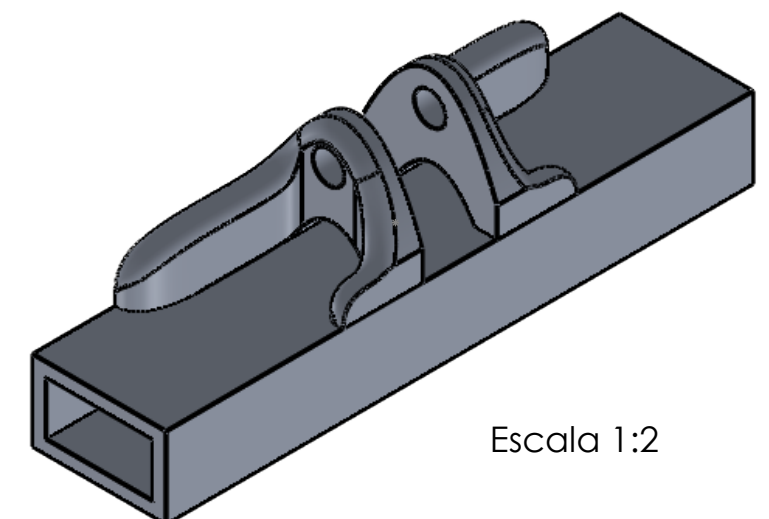
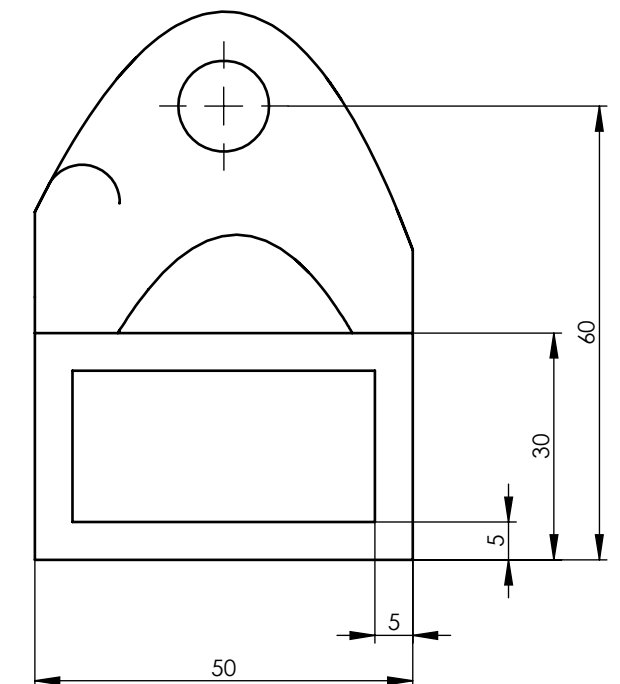
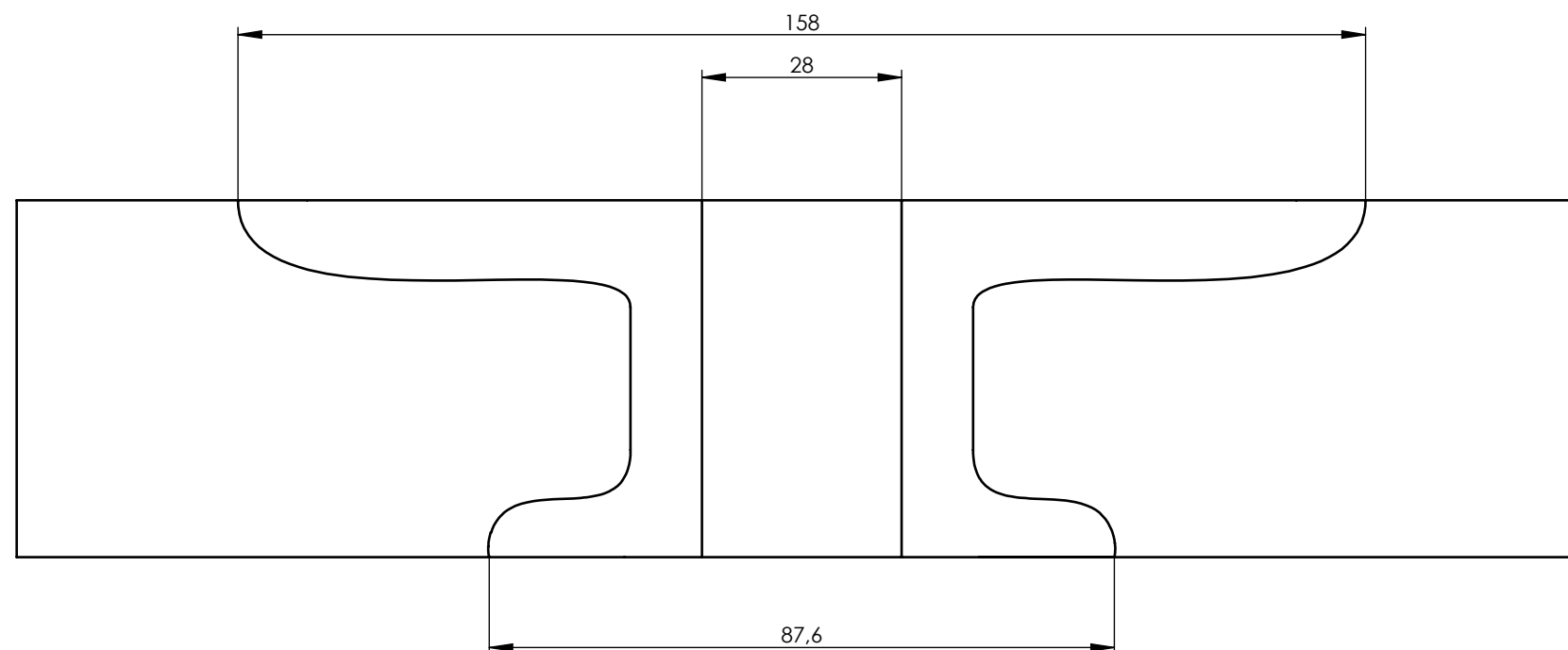
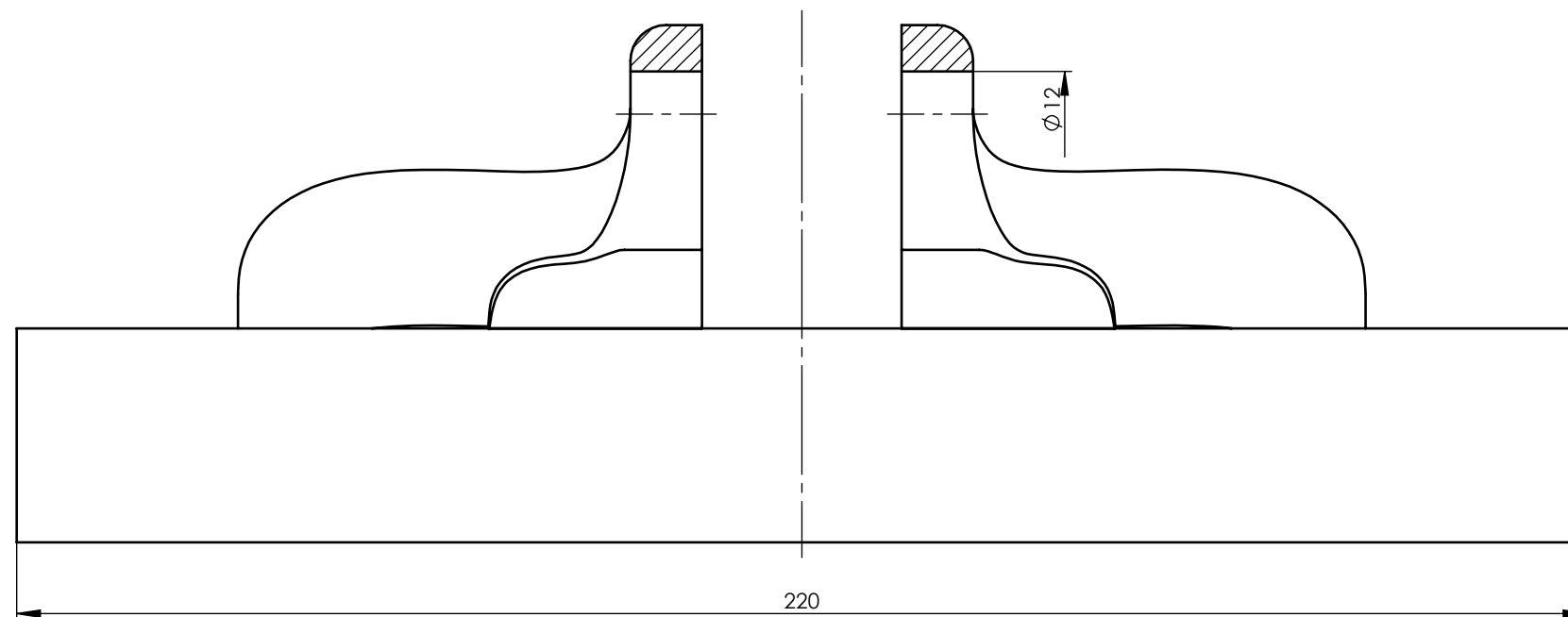


Escala 1:2



Departamento: BASTIDOR/BASCULANTE	A3	Nivel de Pieza: BB.PL.06EJECUADRADO	
Denominación plano: PLANO EJE CUADRADO		Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m	
Código plano: BB.PL_EJECUADRADO		Escala: 1 : 1	Fecha: 24/04/2020

17

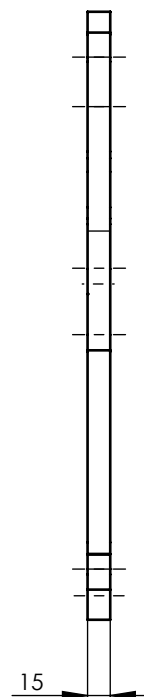
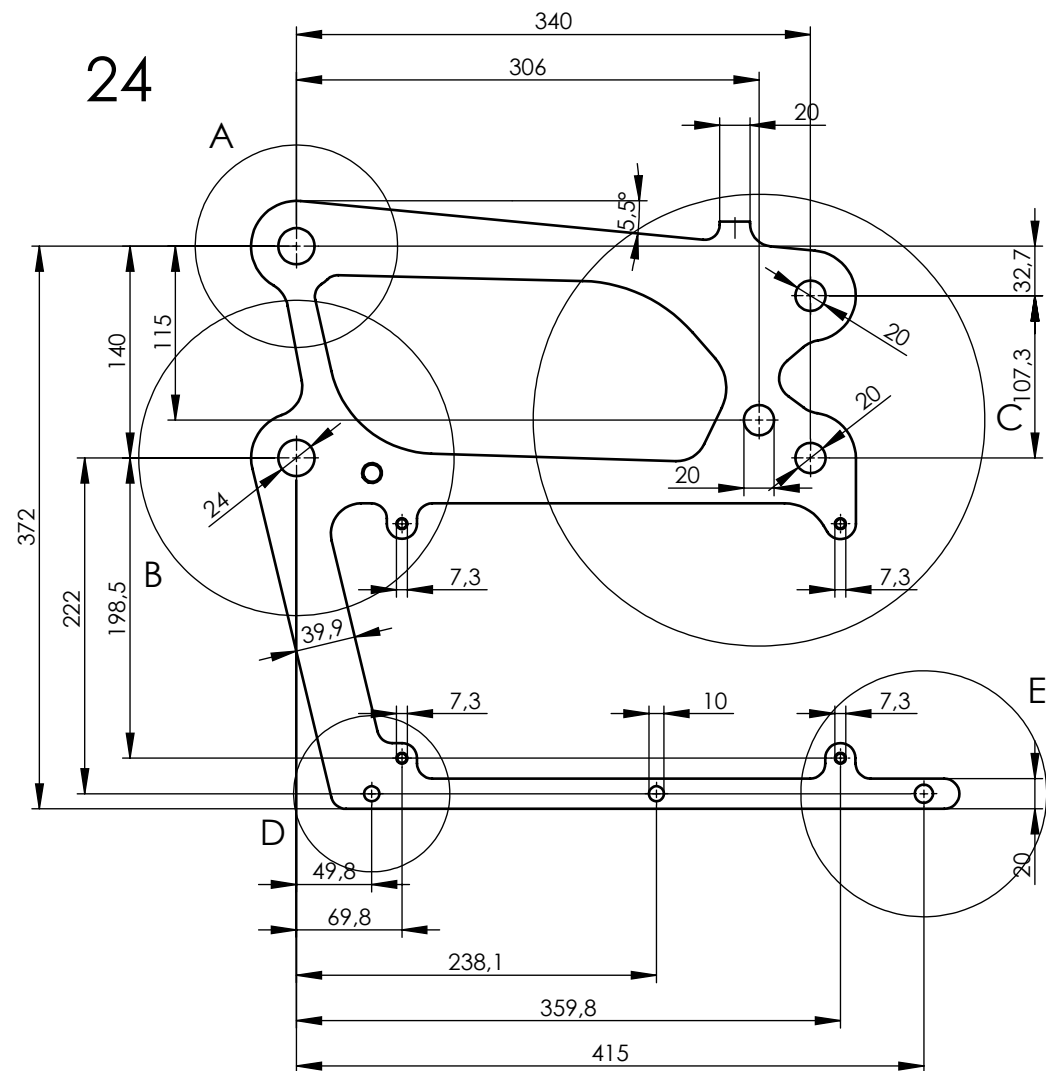


Escala 1:2

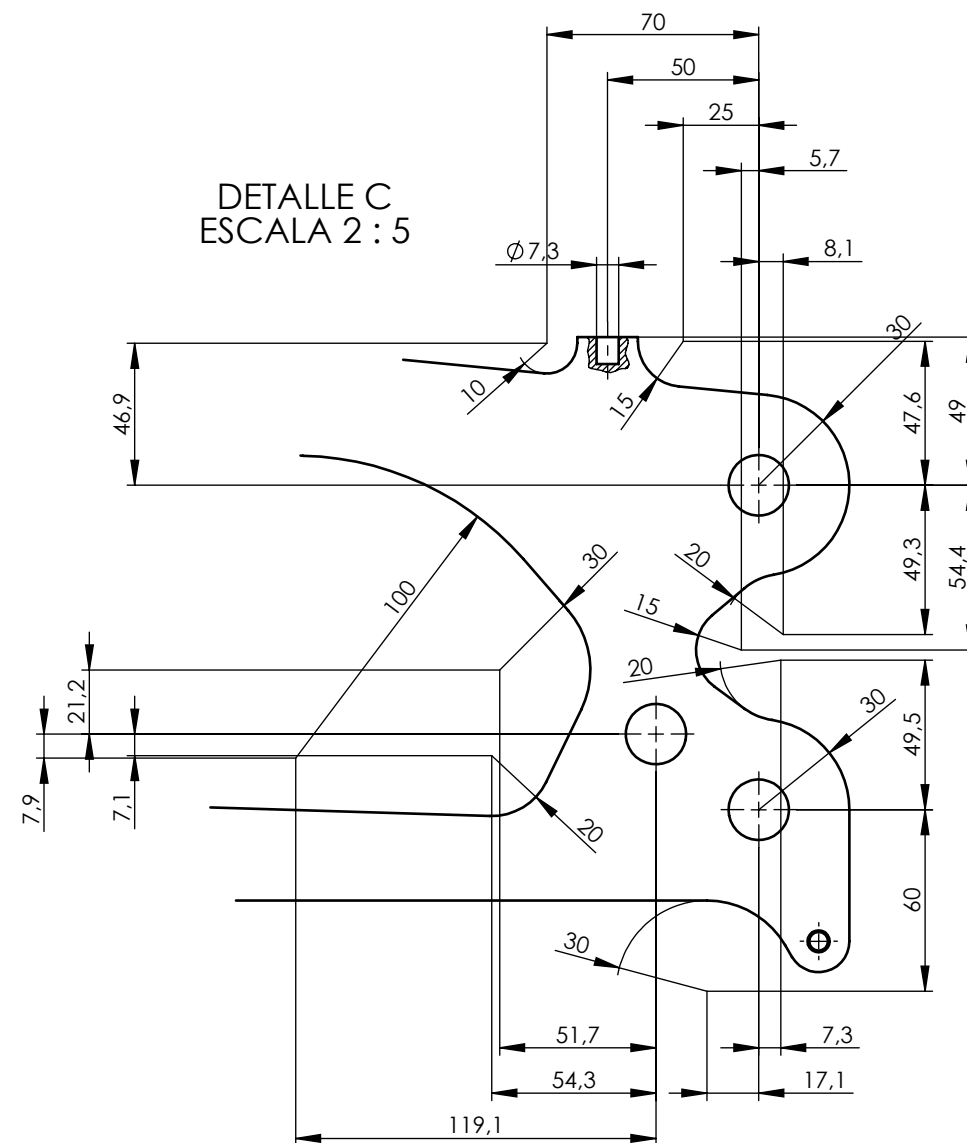


Departamento: BASIDOR/BASCULANTE	A3	Nivel de Pieza: BB.PL.07BIGARECTANGULAR	
Denominación plano: PLANO VIGA RECTANGULAR		Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m	
Código plano: BB.PLVIGARECTANGULAR		Escala: 1 : 1	Fecha: 24/04/2020

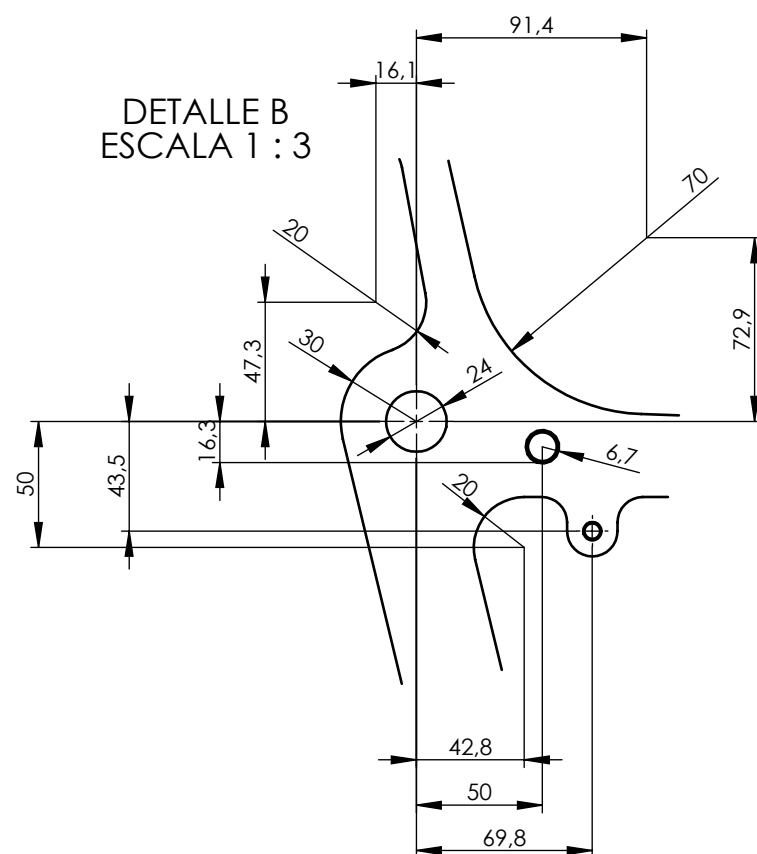
24



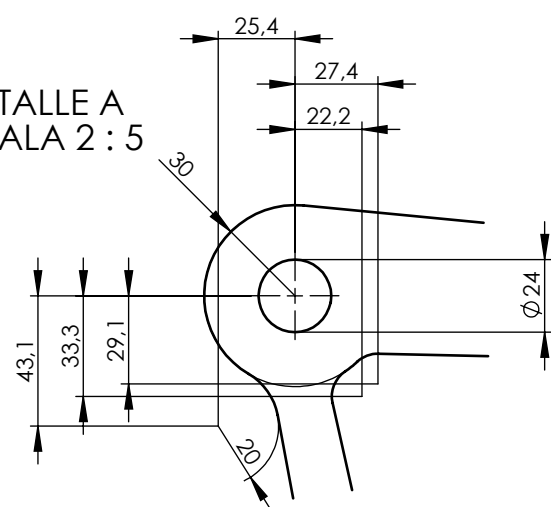
DETALLE C  
ESCALA 2 : 5



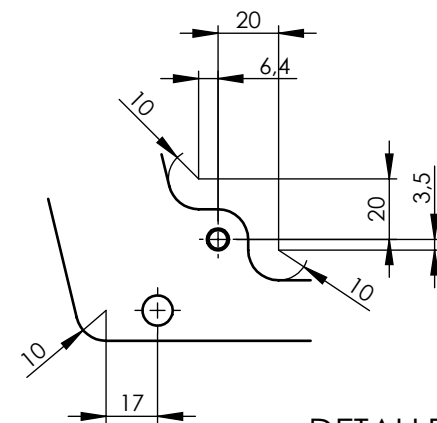
DETALLE B  
ESCALA 1 : 3



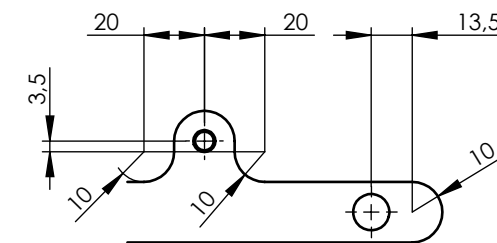
DETALLE A  
ESCALA 2 : 5



DETALLE D  
ESCALA 2 : 5



DETALLE E  
ESCALA 2 : 5



Departamento:  
BASTIDOR/BASCULANTE

A3

Nivel de Pieza:  
BB.PL.09BASTIDORLATERAL

Denominación plano:  
**PLANO BASTIDOR  
LATERAL**

Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m

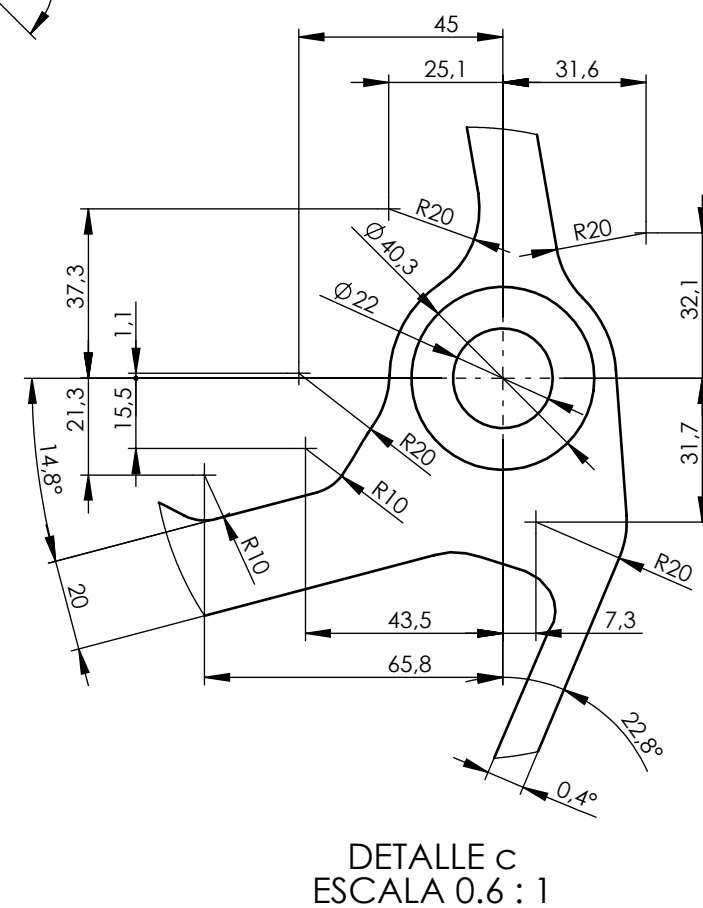
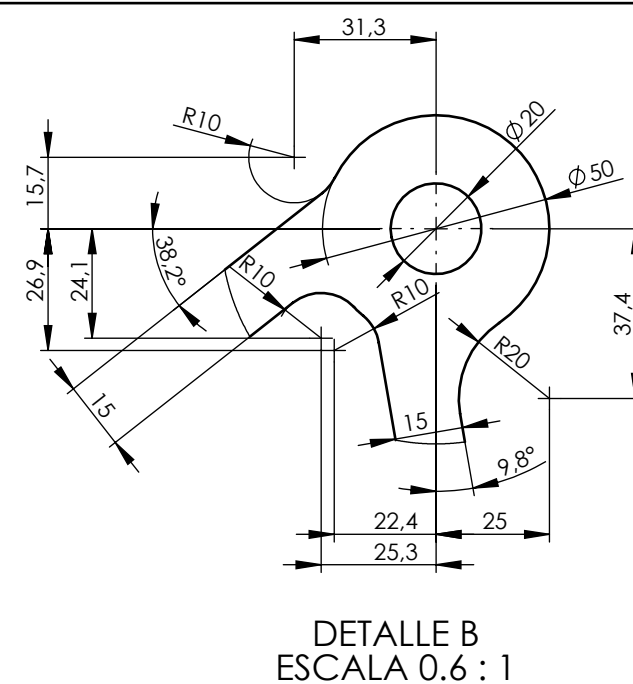
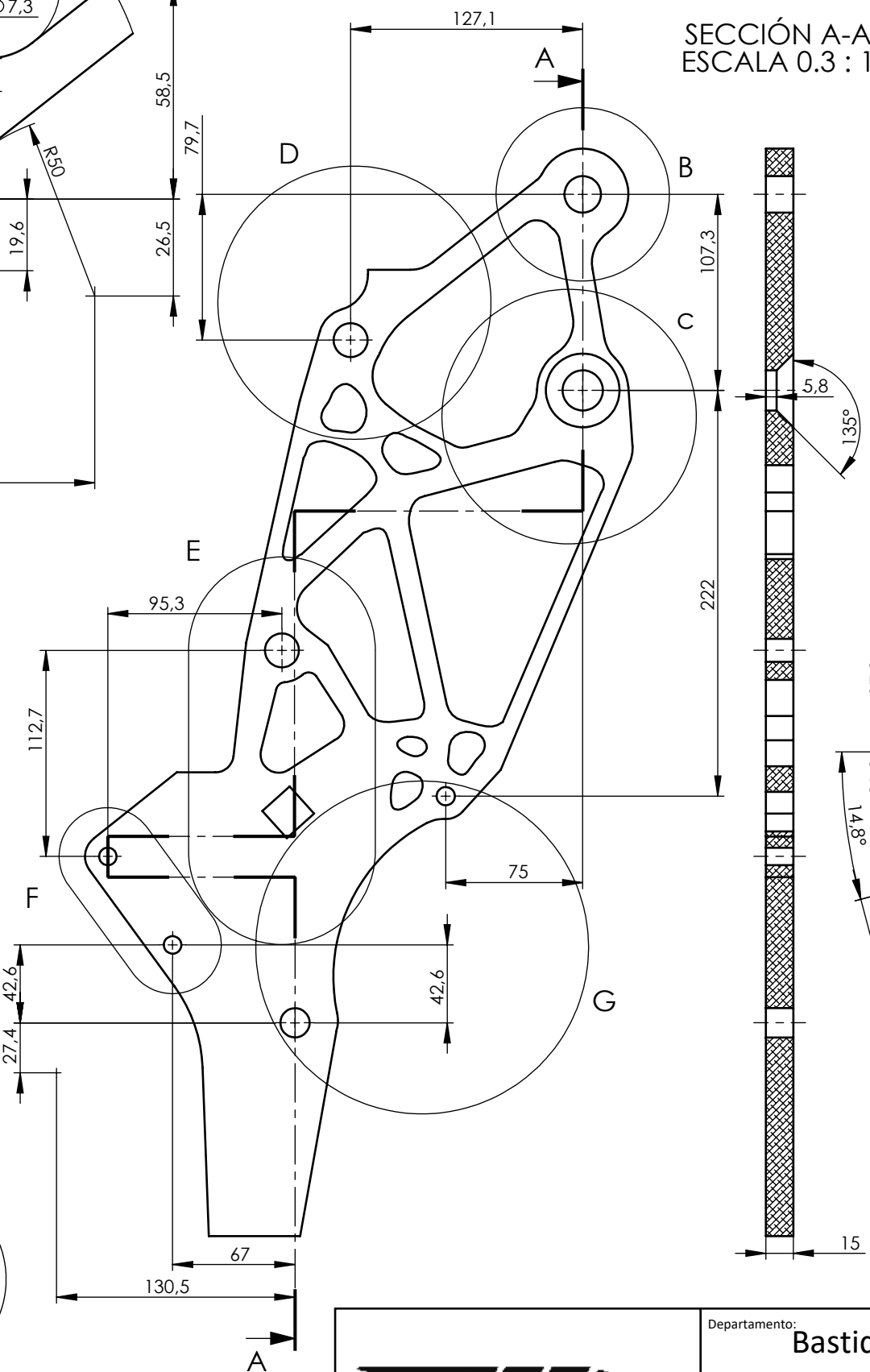
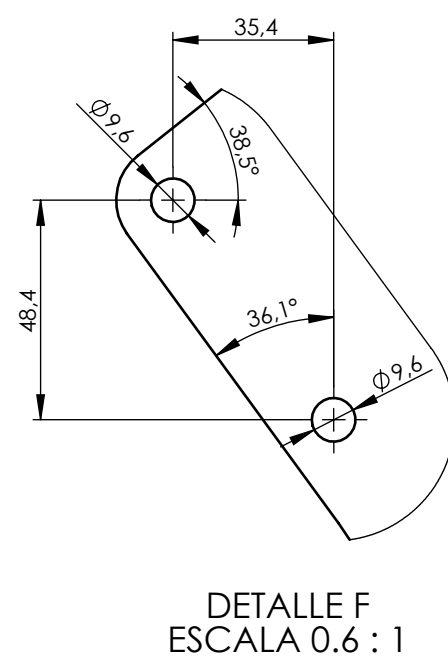
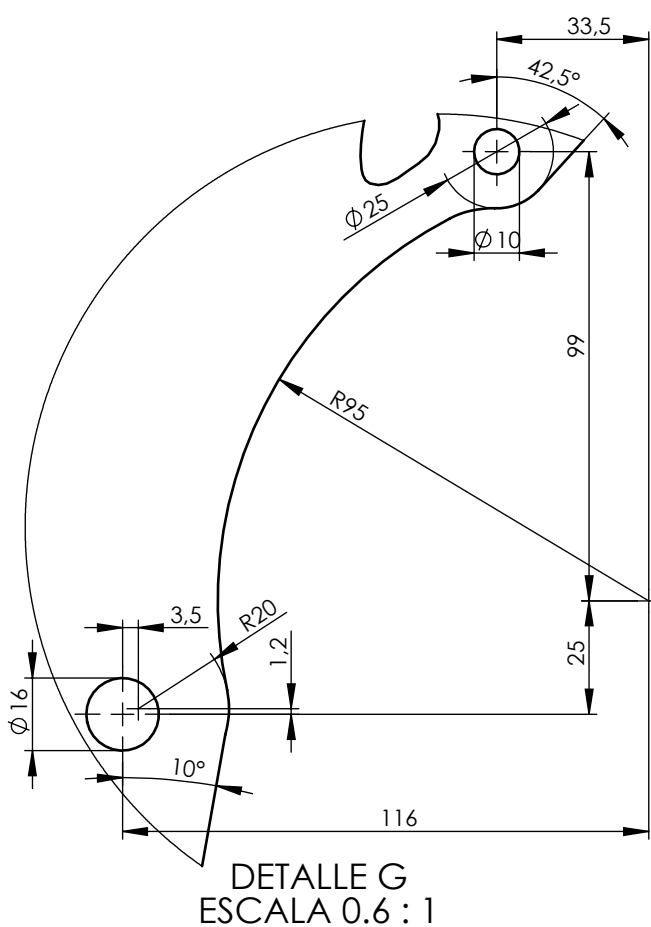
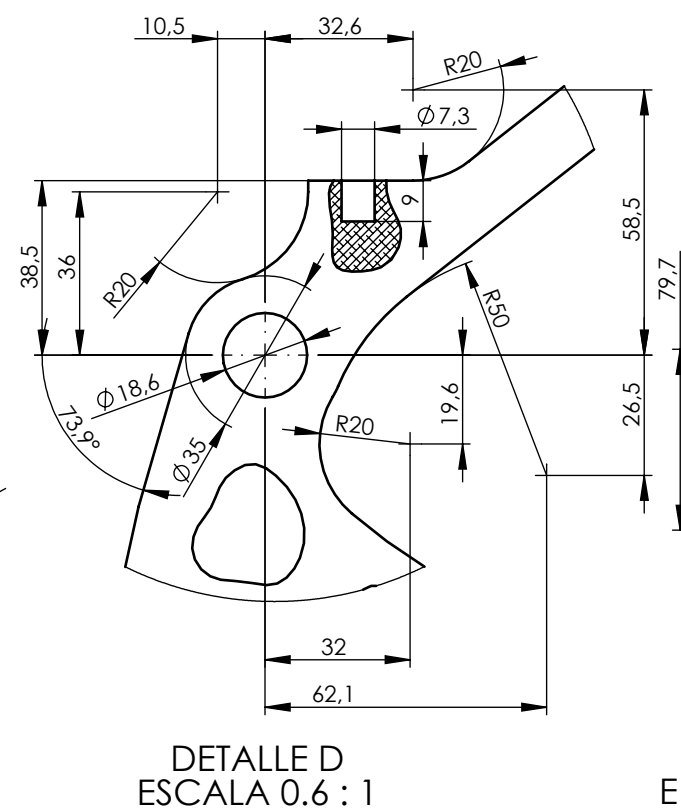
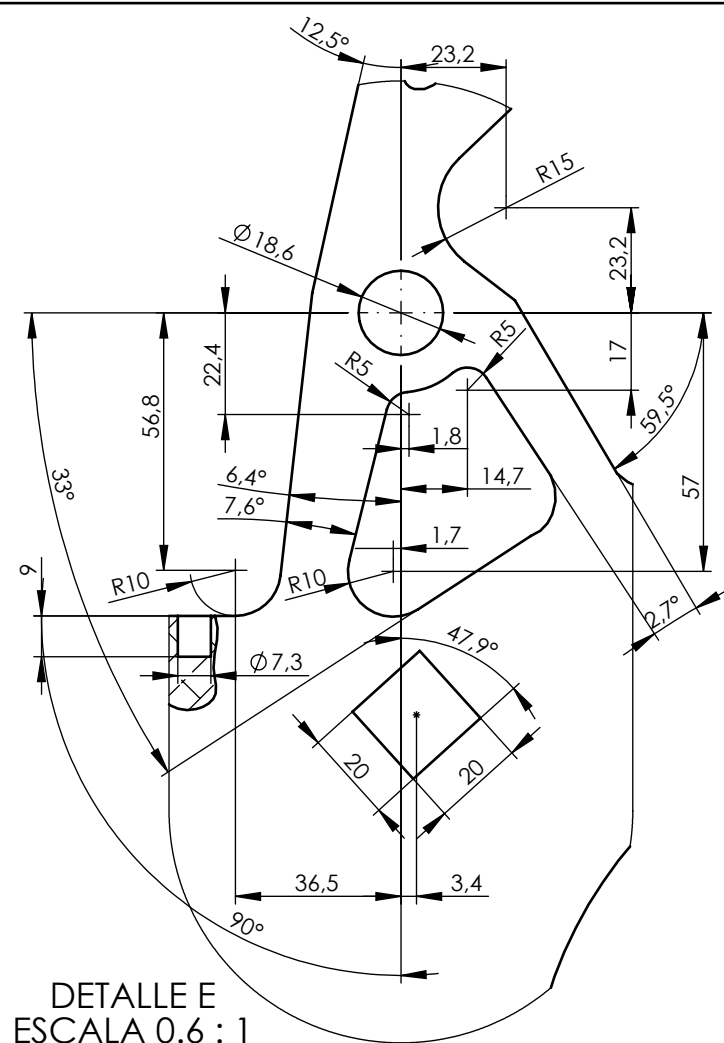
Código plano: BB.PL\_BASTIDORLATERAL

Escala:

1 : 5

Fecha:

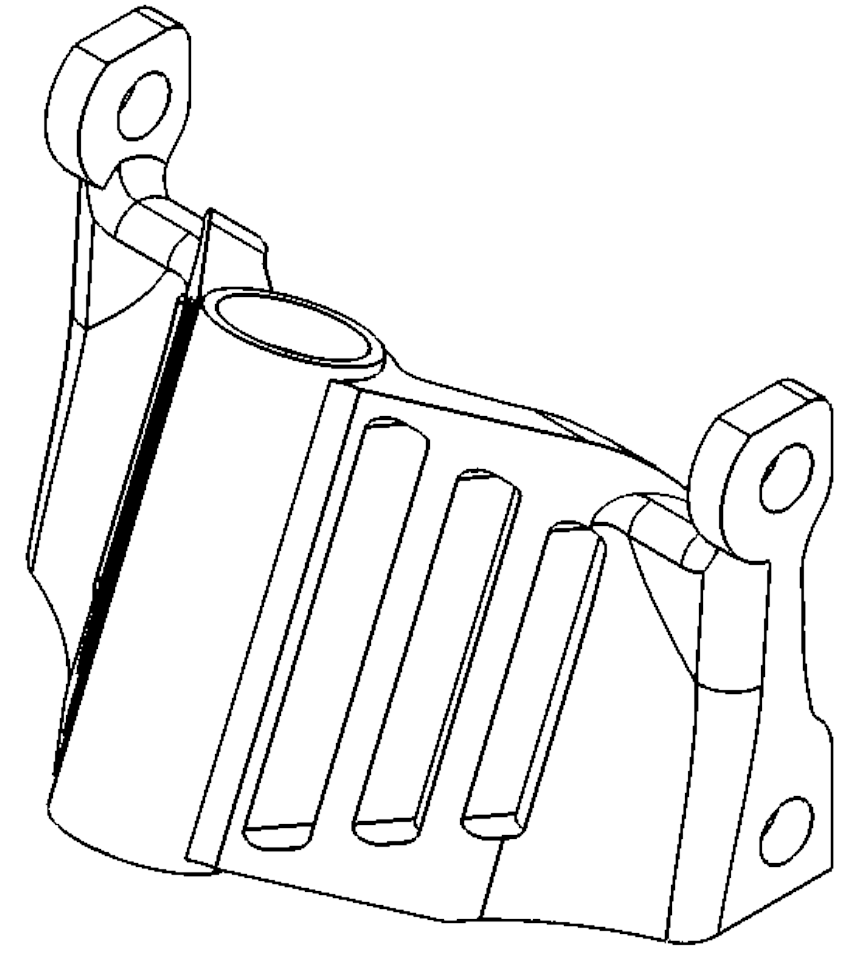
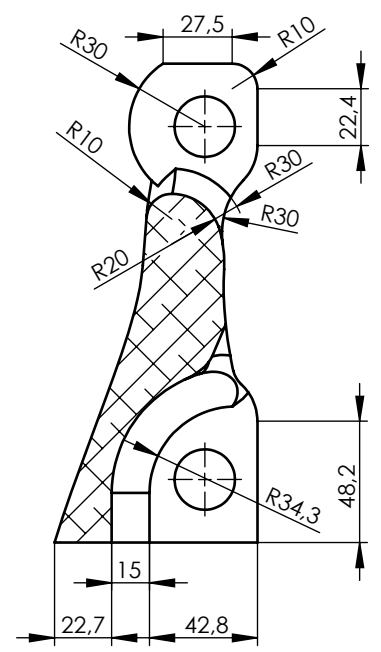
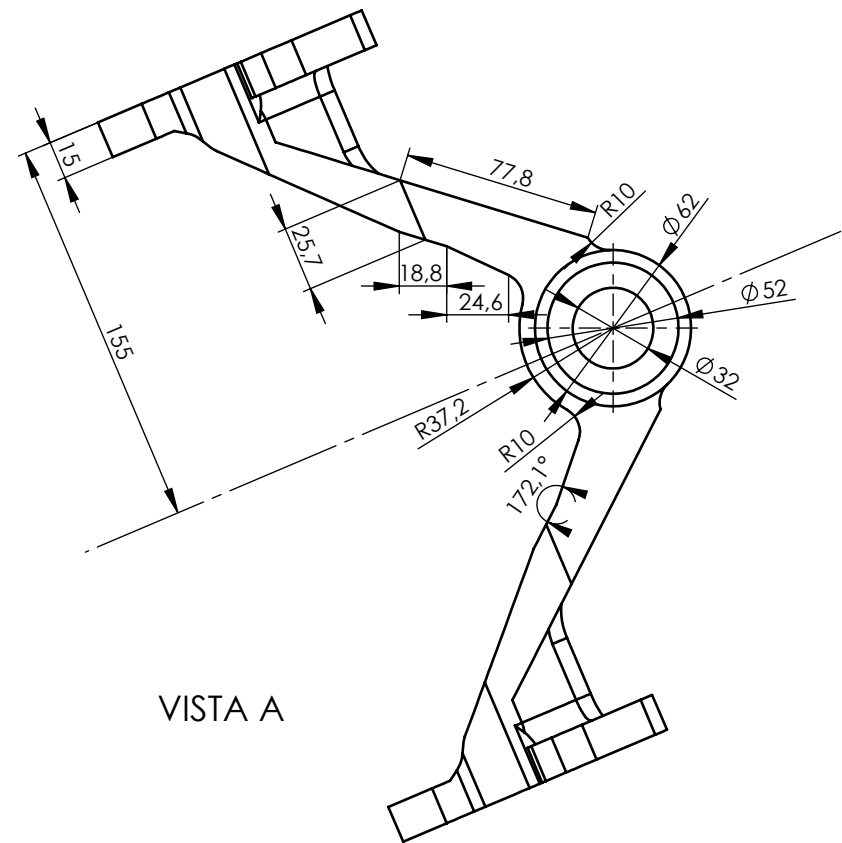
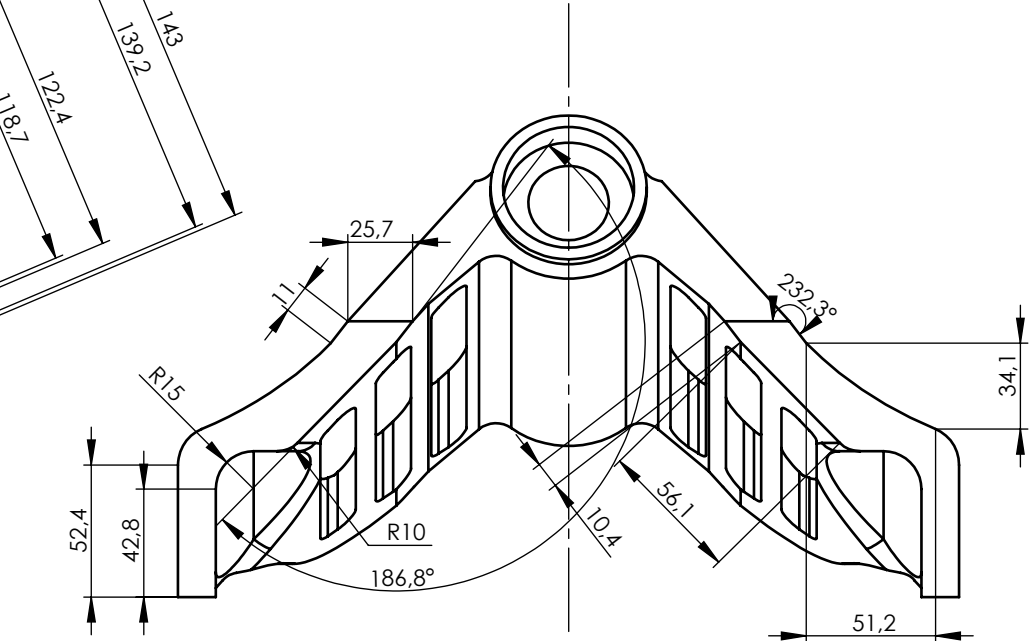
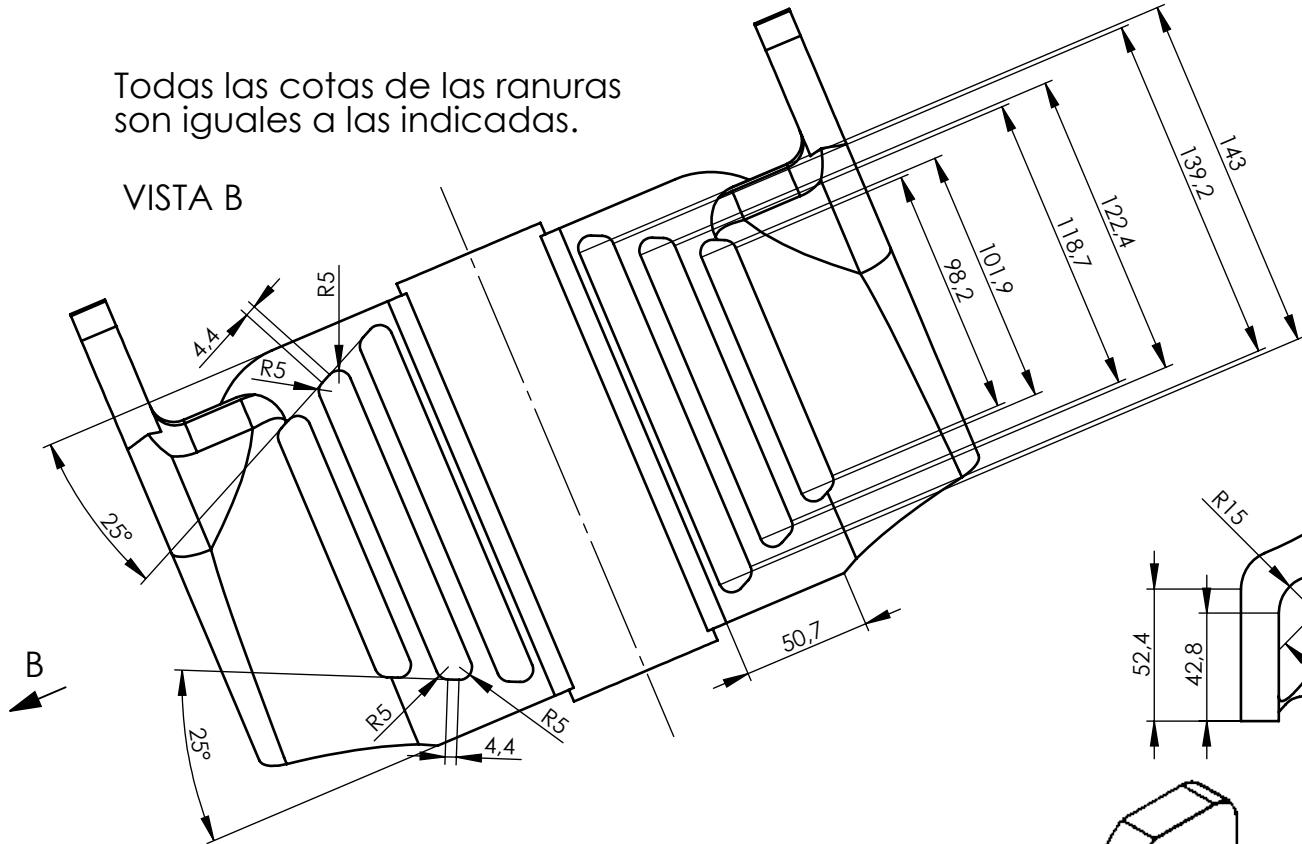
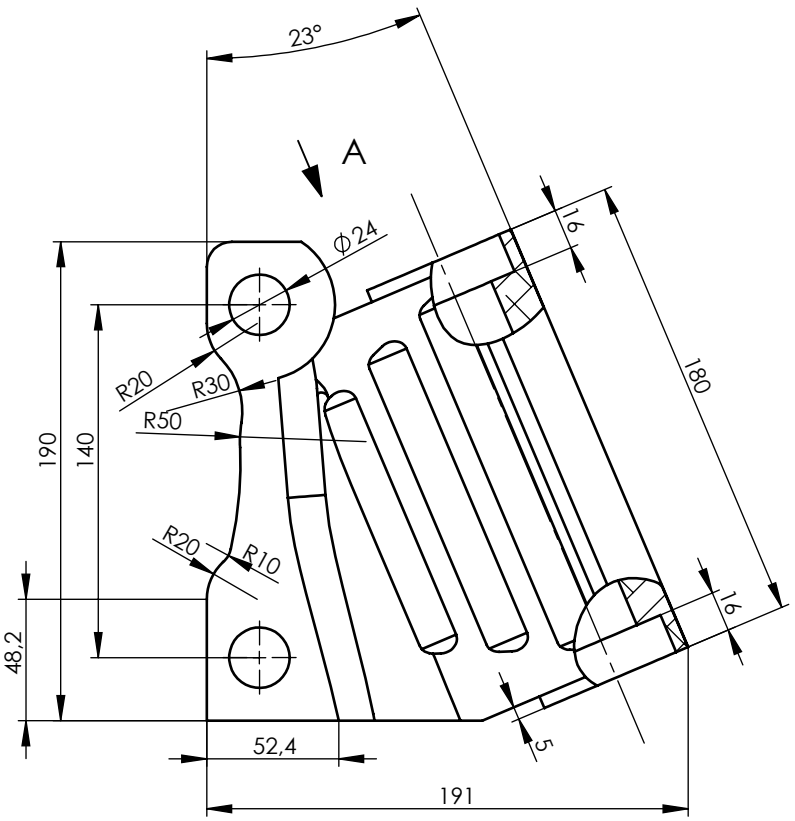
24/04/2020



Departamento:	Bastidor	A3	Nivel de Pieza:	BST.P.42- Bastidor Posterior Esquerra V7
Denominación plano:	Bastidor Posterior		Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m	
Código plano:	BST.PL_BASTPOST	0.3:1	Fecha:	27-04-2020

Todas las cotas de las ranuras son iguales a las indicadas.

VISTA B

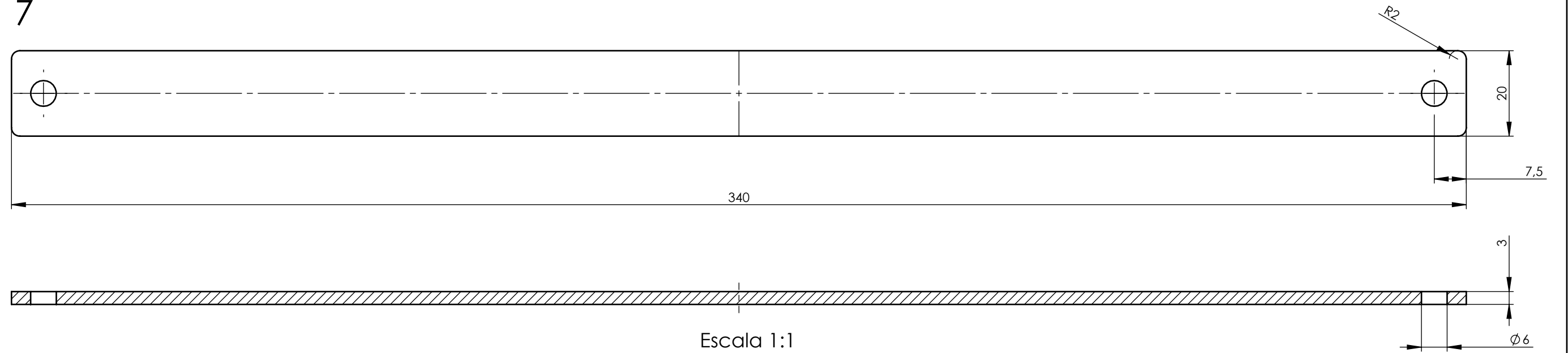


VISTA A

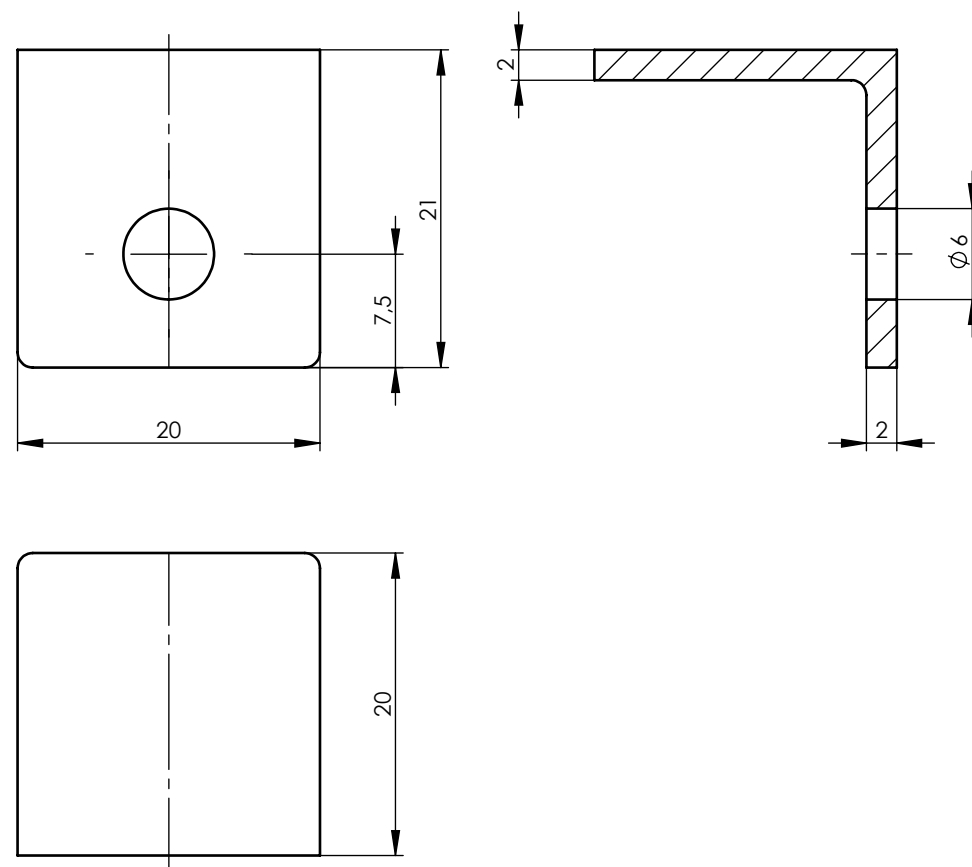


Departamento:	TREN DELANTERO	A3	Nivel de Pieza:	TD.06
Denominación plano:	PIPA		Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m	
Código plano:	TD.PL.PIPA		Escala:	1 : 3
			Fecha:	23-04-2020

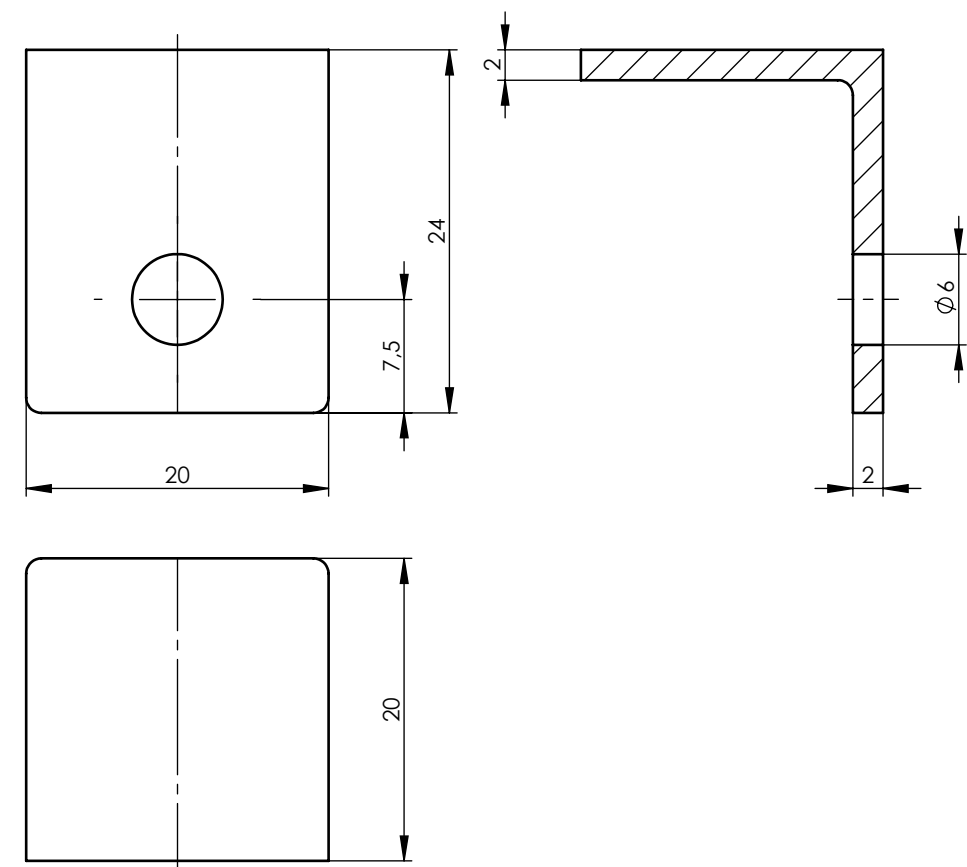
7



6

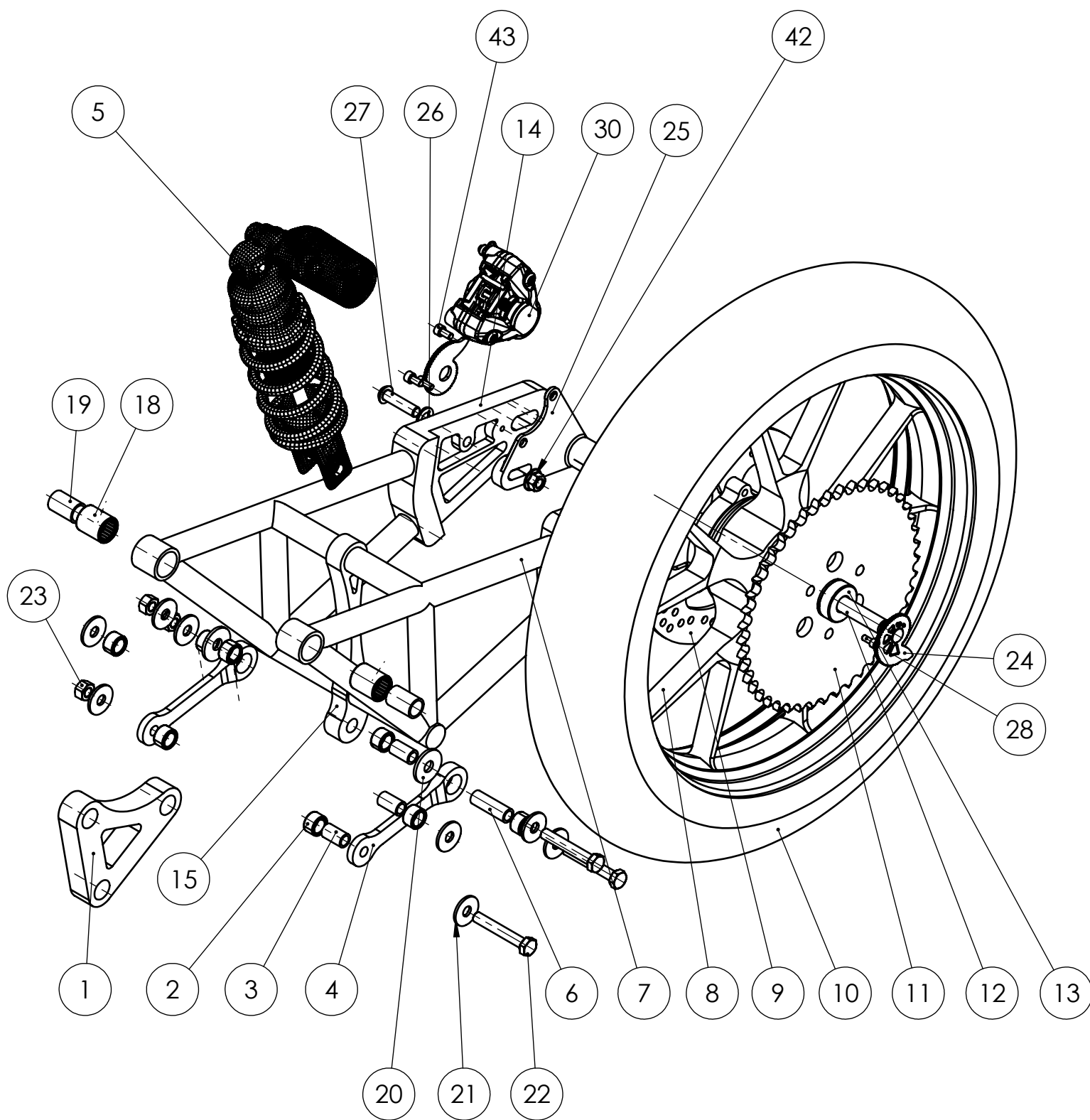


8



	Departamento:	BATERIAS, POWERTRAIN Y DASHBOARD	A3	Nivel de Pieza:		BT.P.01- CIERRETAPAS_PESTAÑA1_PESTAÑA2
	Denominación plano:	BT.PL CIERRE TAPA, PESTAÑA 1, PESTAÑA 2		Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m		
	Código plano:	BT-PL-01-CIERREYPESTAÑAS		Escala:	2:1 1:1	Fecha:  24-04-2020

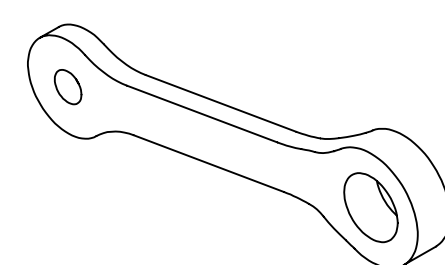
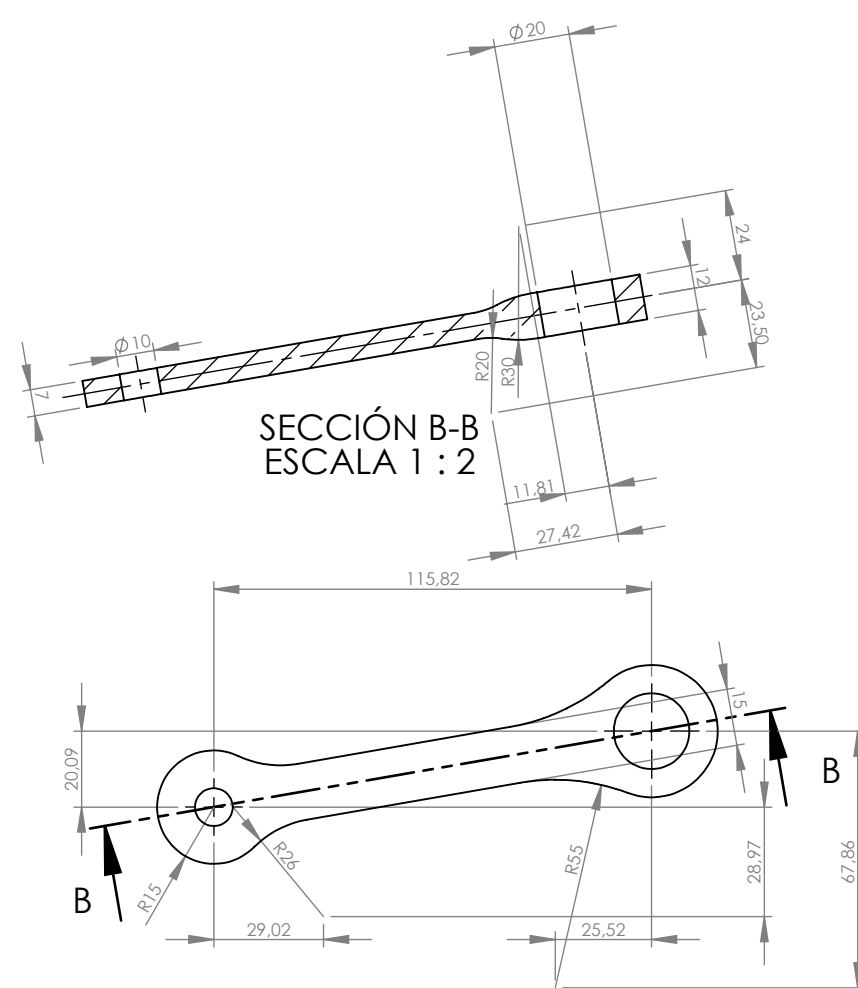




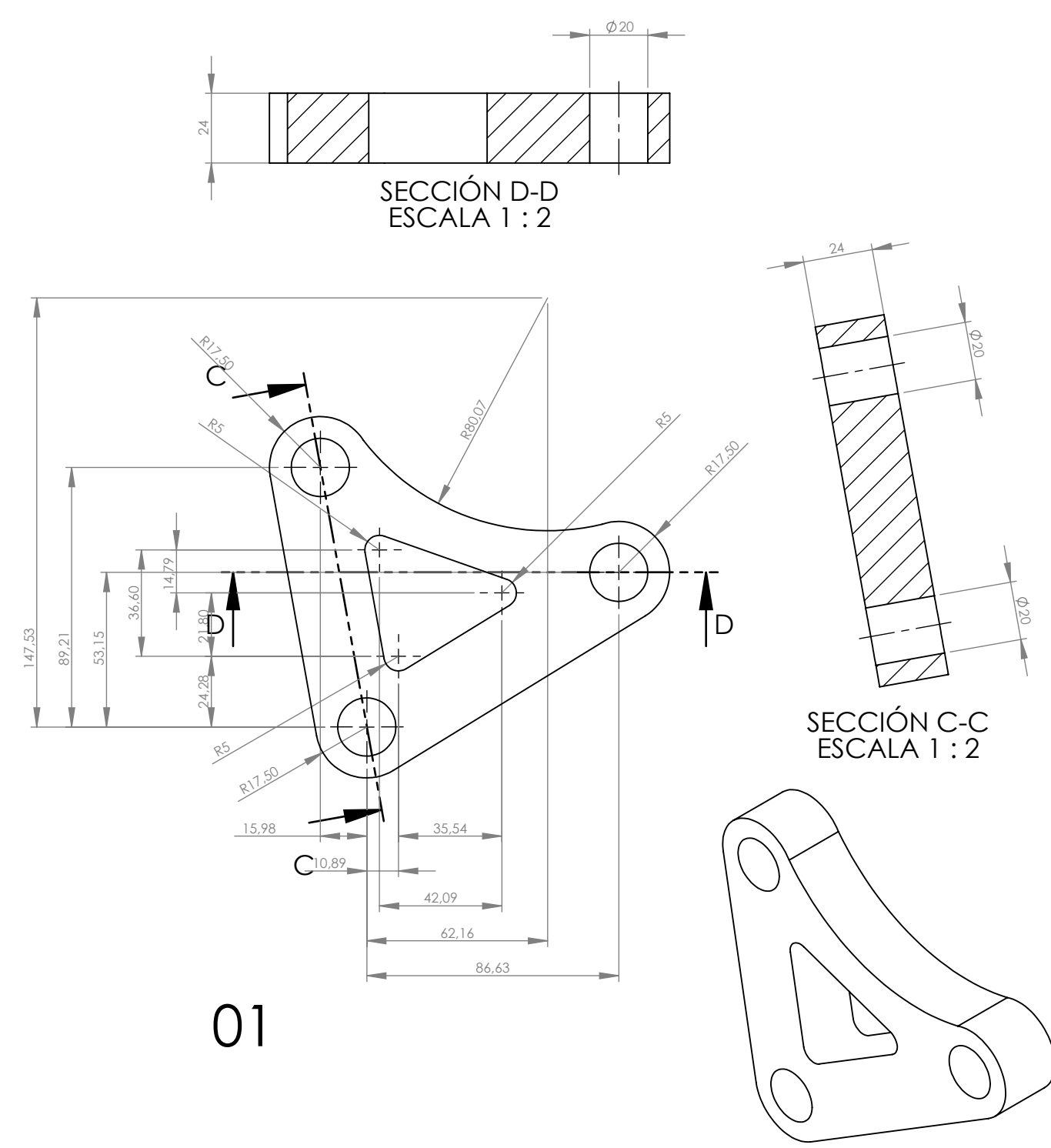
43	Socket Head M6x12	3	ISO4762	
42	Tuerca Hexagonal M10	1	ISO4161	
30	MS1910 J.Juan Rear Caliper	1		
28	Socket Head M5x12	1	ISO4762	
27	Socket Button M10x40	1	ISO7380	
26	Arandela M10	1	ISO7989	
25	Soporte Pinza de Freno	1		Aluminio 6063 T5
24	Tensor Cadena	2		Aluminio 6063 T5
23	Tuerca Hexagonal M10	3	DIN4034	
22	Tornillo Hexagonal M10 x 65	3	ISO4014	
21	Arandela M10	8	DIN9021	
20	Arandela M10	2	DIN440R	
19	Casquillo Eje	2		Aluminio 6063 T5
18	HK2030	2		
15	Oreja Basculante	1		Aluminio 6063 T5
14	Pieza mecanizada basculante	2		Aluminio 6063 T5
13	Casquillo Rueda Trasera	1		Aluminio 6063 T5
12	Eje Rueda Trasera	1		Acero
11	Corona 45 dientes	1		Acero
10	Dunlop KR113 115-70 R17	1		
9	NG 312 220mm	1		
8	Marchesini M10R Kompe moto3 Rear	1		
7	Estructura tubular basculante	1		Aluminio 6063 T5
6	Casquillo Oreja	1		Aluminio 6063 T5
5	Amortiguador	1		
4	Link_Config1	1		Aluminio 6063 T5
3	Casquillo Interior Rodamiento	3		Aluminio 6063 T5
2	HN 1412	8		
1	Balancín	1		Aluminio 6063 T5
Marca	Denominación	Qty.	Norma	Material

	Departamento:	BASCULANTE	A3	Nivel de Pieza: BST.E.70.Ensamblaje	
	Denominación plano: Lista despiece basculante			Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m	
				Escala:	Fecha:
	Código plano:	BSC.PL_LISTDESP		1:5	29-04-2020





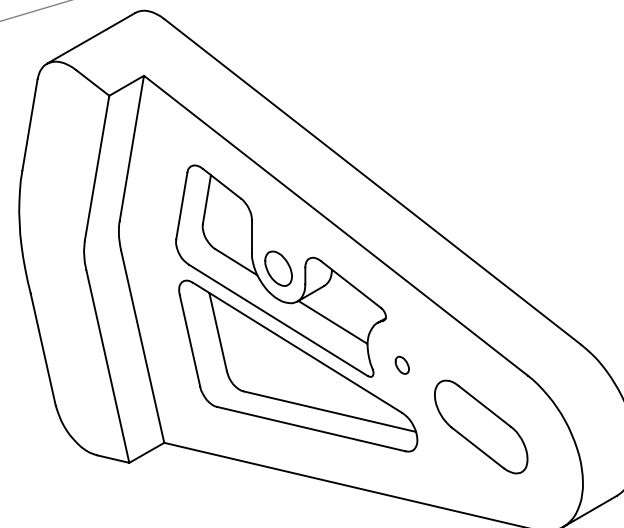
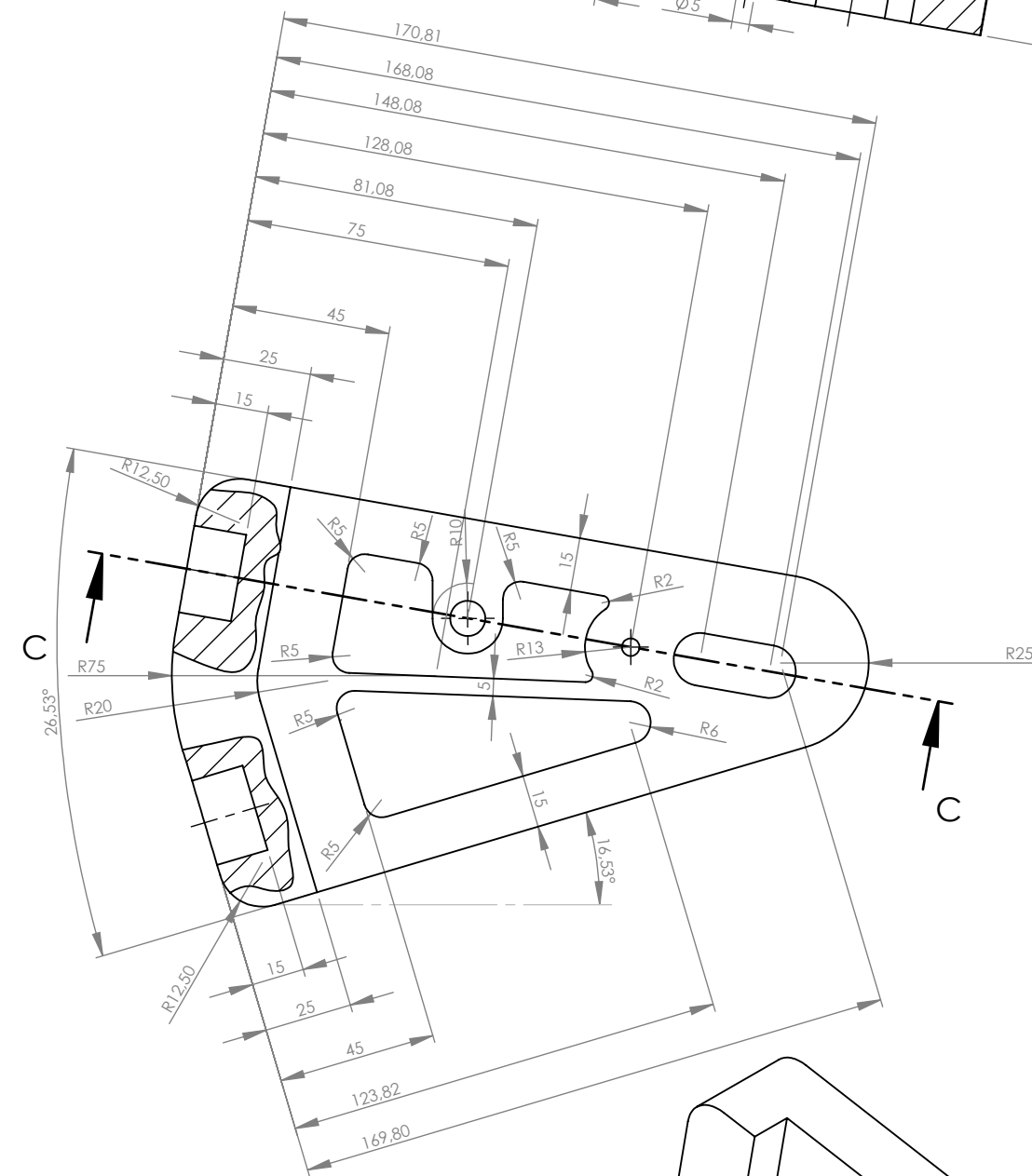
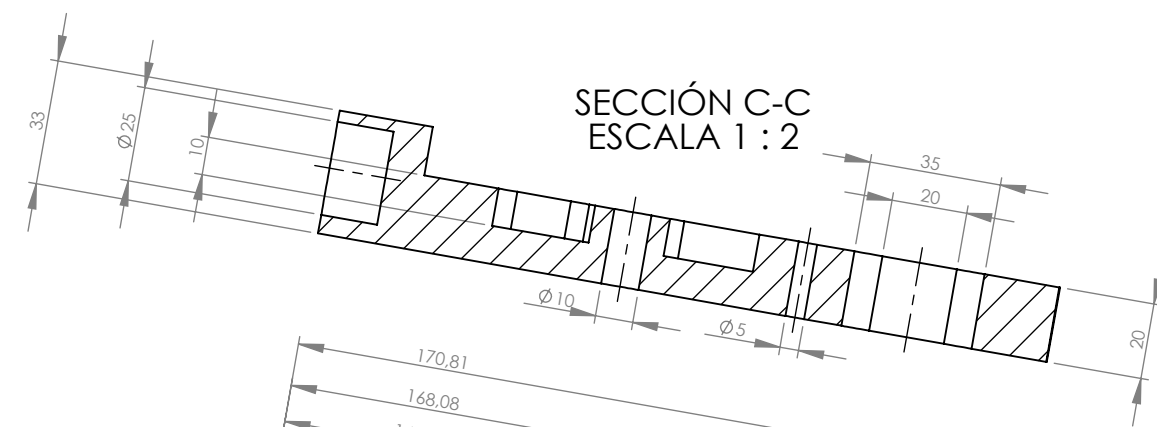
04



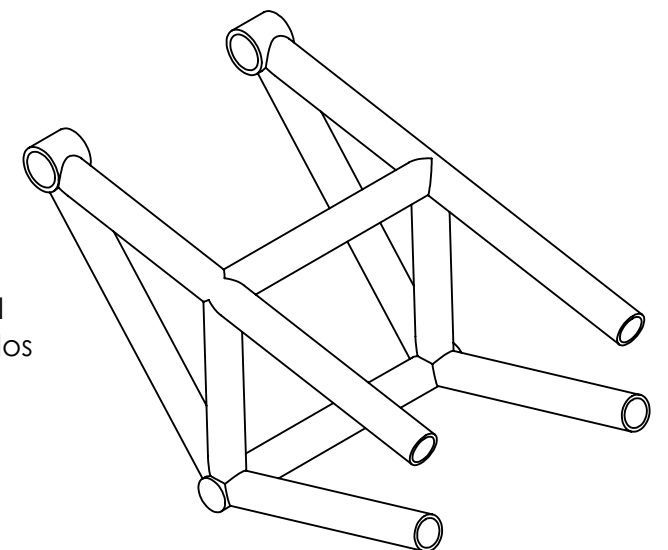
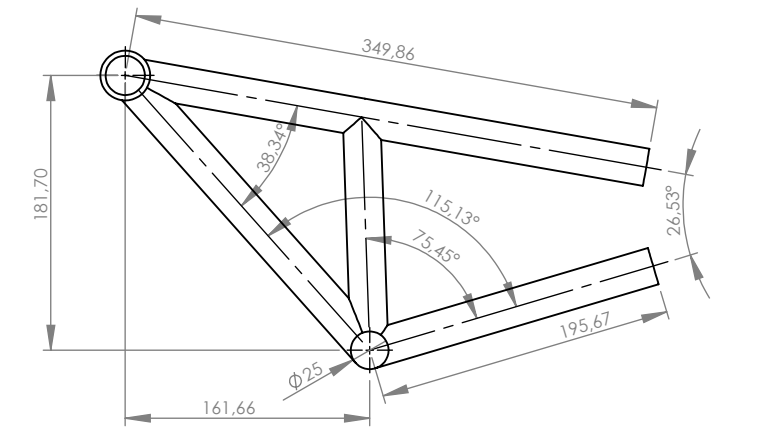
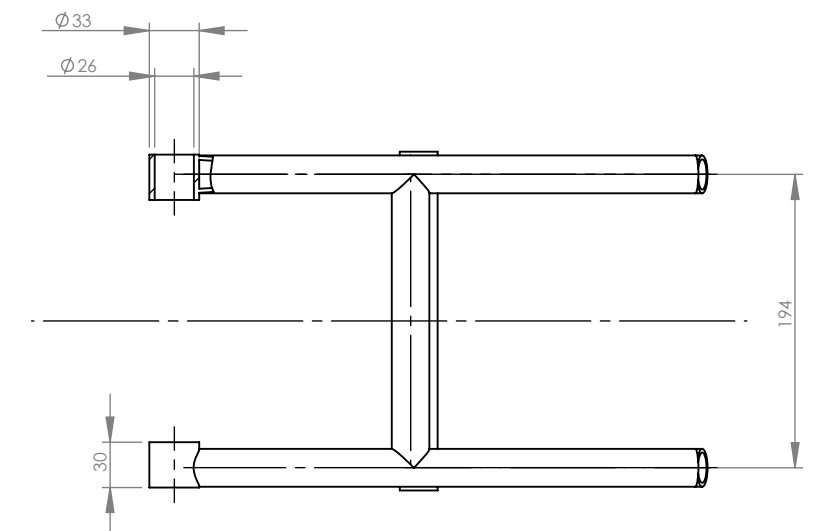
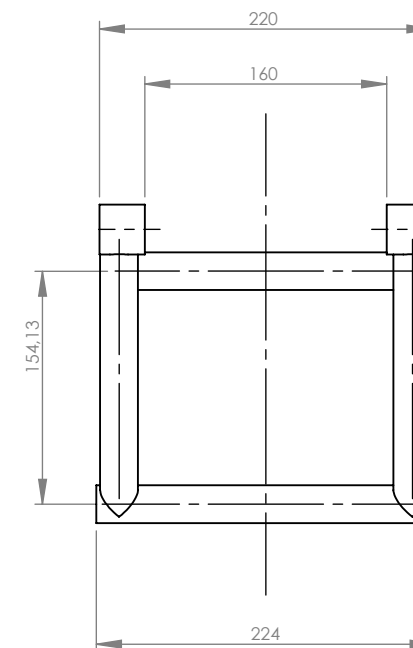
01

4	Link_Config1		1:2	
1	Balancín		1:2	
Marca	Denominación		Escala	
	Departamento:	Basculante	A3	Nivel de Piezas: BST.PL.01-Balancín y Link
	Denominación plano:	Planos piezas 1 y 4		
	Código plano:	BST.PL.01-Balancín y Link	Escala:	Fecha:
			1 : 2	18/04/2020




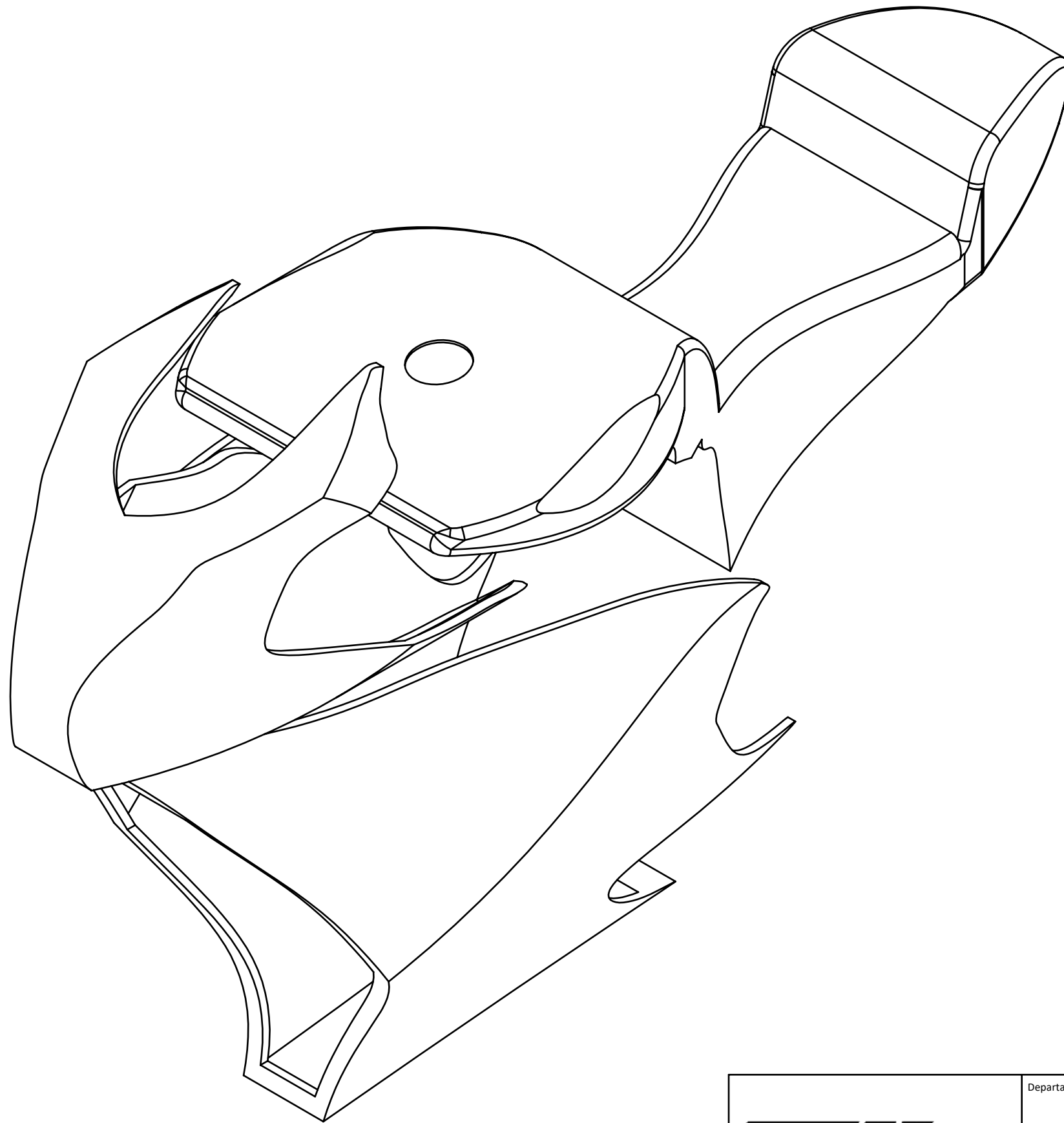


07



Nota: El conjunto de la estructura tubular del basculante esta hechoa con perfiles redondos normalizados de diámetro exterior = 25mm y diámetro interior = 20mm

07	Estructura tubular basculante	1:5
14	Pieza mecanizada basculante	1:2
Marca	Denominación	Escala
	Departamento: Basculante	A3
	Denominación plano: Plano del basculante	Nivel de Piezas: BST.PL.04-Piezas_07_14
	Código plano: BST.PL.04-Piezas_07_14	<div> Escala: 1 : </div> <div> Fecha: 18/04/2020 </div>



Departamento:	Carenado	A3	Nivel de Pieza:	
Denominación plano:			CAR.ENS.05Carenado	
Código plano:			Escala:	Fecha:
CAR.ENS_Carenado			1 : 5	15/06/2020